Absolute Messungen des vertikalen Leitungsstromes in Potsdam

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
genehmigt von der Philosophischen Fakultät
der Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Berlin

Von

Hellmut Grieger
aus Berlin

Tag der Promotion: 17. 10. 1934

Tag der mündlichen Prüfung: 19. 7. 1934

Dr. Emil Ebering, Berlin NW 7, Mittelstraße 29

)3

Referenten: Professor Dr. Kähler
Professor Dr. von Ficker

Inhalt.

Seite

Einleitung. 5

I. Reduktion des Potentialgefälles und des Vertikalstromes auf die Ebene.

1. Beschreibung des Meßorts. 6
2. Bau eines Modelles. 8
3. Untersuchung des Modelles im künstlichen elektrischen Feld. 9

II. Bemerkungen zur Wilson-Apparatur.

1. Verbesserungen am Apparat. 11
2. Aufstellung des Apparates. 13

III. Meßergebnisse.

1. Allgemeines. 16
   a) Meßzeiten. 16
   b) Ordnungsschema der Messungen. 17
   c) Berechnung der Messungen. 18
2. Ergebnisse der ungestörten Tage. 18
   a) Monatsmittel. 18
   b) Einfluß der meteorologischen Elemente. 21
      α) Sicht, relative Feuchtigkeit und Dampfdruck. . . 21
      β) Wind und Austausch. 25
      γ) Luftdruck und Bodentemperatur. 30
      δ) Wolkeneinfluß. 32
   c) Einfluß der Luftkörper. 33
   d) Vergleich der Vor- und Nachmittagswerte. 38
3. Ergebnisse der gestörten Tage. 40
   a) Wolkeneinfluß. 40
   b) Dunst und Nebel. 40
   c) Mechanische Einflüsse. 41
   d) Schnee, Regen und Gewitter. 42
4. Dauermessungen. 43
   a) Messungen an ruhigen Tagen. 43
   b) Messungen an gestörten Tagen. 44
   c) Leichte Ionen und Vertikalstrom. 47

IV. Vergleichsmessungen und Meßerfahrungen.

1. Das Empfangssystem. 49
2. Der Kompensator. 51

Ausblick und Zusammenfassung. 52

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550810_0189

Einleitung.

Nur wenige haben bis jetzt den vertikalen Leitungsstrom der Atmosphäre direkt gemessen. Man beschränkte sich meistens darauf, die Größe dieses luftelektrischen Elementes durch Rechnung festzustellen, obwohl Wilson[1] schon im Jahre 1905 eine Methode zur Messung dieses Stromes angegeben hat. Auch die registrierende Meßvorrichtung von Simpson[2] hat nur einige Meßreihen gezeitigt, die an 10 Tagen ausgeführt wurden. Daher ist es nicht verwunderlich, daß die Wilson-Apparatur noch keine wesentlichen Verbesserungen erfahren hat. Der Zweck der nachstehenden Arbeit ist es, das Verhalten des vertikalen Leitungsstromes durch eine große Zahl von Messungen (Anfang September 1932 bis Ende August 1933), die nicht nur bei gutem Wetter stattgefunden haben, sondern nach Möglichkeit bei jedem Wetter durchgeführt wurden, zu untersuchen. Die Beobachtungen beschränken sich nicht nur auf kleine Zeiträume: über 30 Messungen erstrecken sich über viele Stunden zu den verschiedensten Tageszeiten. Am Apparat wurden einige Verbesserungen angebracht; ferner erhielt er durch eine neue Art des Aufstellens einen sehr günstigen Meßplatz. Um die Potentialgefälle- und Stromwerte auf die Ebene reduzieren zu können, wurde der Reduktionsfaktor an einem Modell der Meßwiese im künstlichen elektrischen Feld bestimmt.

---

1. C. T. R. Wilson, Proc. of the Cambr. Phil. Soc., **13,** 184 und 363, 1905/06; Proc. of Royal Soc. London (A) **80,** 539, 1908.
2. G. C. Simpson, Phil. Mag. **19,** 715, 1910.

I. Reduktion des Potentialgefälles und Vertikalstromes auf die Ebene.

1. Beschreibung des Meßortes.

Das Potsdamer luftelektrische Laboratorium liegt in der Mitte einer am Berghang liegenden Lichtung, deren Begrenzung in der Abbildung (1) durch eine stark ausgezogene Linie kenntlich gemacht ist. Man ersieht sofort aus der Abbildung, wie stark das Gelände gegliedert ist. Es ergibt sich aber, daß das luftelektrische Laboratorium den denkbar günstigsten Platz einnimmt. Eine alle Einzelheiten berührende Beschreibung des Meßortes ist im Tätigkeitsbericht des Preußischen Meteorologischen Instituts 1933[1] zu finden.

Die über dem Laboratorium verlaufenden Äquipotentialflächen werden nun nicht allein durch den umgebenden Wald stark gestört, sondern erfahren in der Lichtung noch weitere Störungen durch Zäune, Büsche und Häuser. Ein Versuch, die Messungen mit dem Wilson-Apparat nach den Benndorfschen Überlegungen theoretisch auf die Ebene zu reduzieren, wäre der vielen Störungsursachen wegen erfolglos. Die bisher üblichen Vergleichsmessungen des Potentialgefälles jenseits des Waldes haben den großen Nachteil, daß sie sich nur auf kleine Zeiträume beschränken, daß eine große Entfernung beide Meßplätze voneinander trennt, was wechselnde Ergebnisse — bedingt durch die nicht streng gleichzeitigen Schwankungen des Potentialgefälles an beiden Meßorten — zur Folge hatte. Sogar Lutz fand unter günstigeren Bedingungen wechselnde Reduktionsfaktoren.[2] Die Bedenken und Fehlermög-

1. H. Grieger, Bericht über die Tätigkeit des Preuß. Met. Inst. i. Jahre 1933, S. 109.

2. C. W. Lutz, Gerlands Beitr. z. Geophys. **31**, 398, 1931.

lichkeiten fallen fort, wenn man von dem Gelände ein Modell herstellt, und an diesem im künstlichen elektrischen Feld mit einer Sonde den Verlauf der Flächen gleichen Potentials untersucht. Die theoretische Berechtigung dieser Reproduktion des Erdfeldes durch ein künstliches Feld gründet sich auf das von Maxwell[3] aufgestellte Prinzip der elektrischen Ähnlichkeit. Durch Messung konnte ich feststellen, daß die Höhe der die Wiese begrenzenden Bäume relativ zum Laboratorium ungefähr gleich ist. So wird durch diesen Zufall die Untersuchung im künstlichen Feld bedeutend erleichtert.

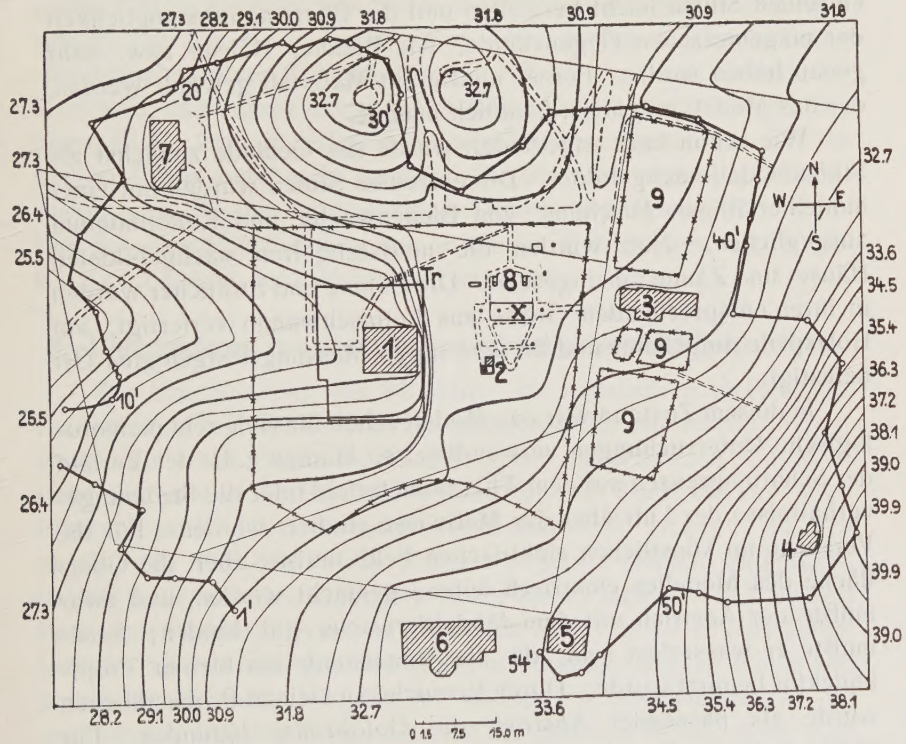


Abb. 1.

1. Luftelektrisches Haus. 2. Verdunstungshäuschen. 3. Dienerhaus. 4. Wellblechhaus. 5. Garage. 6. Variationshaus. 7. Höhenstrahlungslaboratorium. 8. Englische Hütten. 9. Gärten. × = Mitte des Thermometerfeldes. Tr. = Treppe.

3. J. Cl. Maxwell, Treatise, Vol. I, § 94, 1873.

2. Bau eines Modelles.

Da eine genaue Karte, nach welcher der Bau eines Modelles vom Meßgelände hätte vorgenommen werden können, fehlte, wurde von mir im Sommer 1933 die etwa 1,9 ha große Lichtung mit den gebräuchlichen Instrumenten vermessen.[4] Nahezu 200 einnivellierte Punkte legten die Höhenverhältnisse des Geländes fest. Daraus wurde die in der Abbildung (1) sichtbare Karte im Maßstab 1 : 150 konstruiert. Dieser außergewöhnliche Maßstab wurde aus technischen Gründen gewählt. Er mußte sich mit dem des Modells decken, wenn man die Schablonen der Isohypsen zum Aussägen der einzelnen Stufen leicht herstellen und die Übertragungsmöglichkeit der eingemessenen Gegenstände, wie Bäume, Häuser usw. sehr genau haben wollte. Ferner mußte ein Maßstab gewählt werden, der das Modell möglichst handlich machte.

Wie schon kurz angedeutet, wurde das Gelände zunächst als Stufenmodell nachgebildet. Die einzelnen Stufen wurden mit einer modellierfähigen Mischung von Bienenwachs und Kollophonium ausgeglichen. Nun wurden die maßstabgetreu nachgebildeten Häuser und Zäune hineingesetzt. Die Bäume und Sträucher wurden in ihrer entsprechenden Größe aus Luffaschwamm verfertigt, auf Holzspeile aufgeleimt und an dem durch Messung festgelegten Ort befestigt.

In diesem Zustand war das Modell schon für viele rein meteorologische Untersuchungen verwendbar; so können z. B. der Verlauf der Schattengrenzen auf dem Thermometerfeld oder die Strömungsverhältnisse der Luft über der Meßwiese studiert werden. Für die Versuche im künstlichen elektrischen Feld mußte aber die Oberfläche des Modelles elektrisch leitend gemacht werden, und zwar mußte der Anstrich mit dem Modellierwachs gut binden; ferner mußte er wasserfest sein, da als Abtastsonde ein kleiner Tropfkollektor benutzt wurde. Durch Versuche an kleinen Probestäbchen wurde als passender Anstrich die Goldbronze befunden. Für elektrostatische Zwecke erwies sich auch chinesische Tusche als gut verwendbar; sie hatte jedoch nicht die erwünschte Wasserfestigkeit. Bevor das Modell bronziert wurde, wurden in das

4. Die sachgemäße Anleitung zu dieser Vermessung wurde mir vom Herrn Stadtgeometer Buchweitz vom Zentralvermessungsamt der Stadt Berlin gegeben, der auch in dankenswerter Weise die zur Aufmessung notwendigen Grundlinien festlegte.

Modellierwachs eine Anzahl ganz dünner Drähte hineingedrückt, deren Enden an einen um das Modell führenden starken kupfernen Anschlußdraht angelötet wurden. Durch den Anschlußdraht kann diesen Drähten und damit der ganzen Oberfläche des Modelles ein bestimmtes Potential mitgeteilt werden, wovon ich mich durch Versuche am Modell überzeugte.

Die Verwendung des Tropfkollektors zeigt bei der Untersuchung am Modell nicht die Nachteile — nämlich fälschende Raumladungen — die radioaktive Kollektoren nach Versuchen von Tuve und Huff[5] haben. Das elektrische Feld wird durch zwei gleich große Platten gebildet, von denen die untere in der Mitte einen Ausschnitt von der Größe des Modelles hat. So hat die untere Platte das Aussehen eines Rahmens, dessen Ränder 1 m vom Modell entfernt sind, und dessen Ebene in der Höhe der Baumgipfel liegt. Die obere Platte kann in jedem Abstand über dem Modell parallel zur unteren Platte angebracht werden. Die Platten bestehen aus Eisenrohrrahmen, die mit engmaschigem Drahtnetz bespannt sind. Beim Bau des künstlichen Feldes kamen mir die Erfahrungen zugute, die Ebert, Lutz und Müller[6] machten.

3. Untersuchung des Modelles im künstlichen elektrischen Feld.

Zur Untersuchung des Modelles im künstlichen elektrischen Feld wurden die beiden das Feld bildenden Platten vertikal aufgestellt. Auf einem Gaußschen Stativ fanden ein Wulfsches Einfadenelektrometer und die Haltevorrichtung für den Tropfkollektor ihren Platz. Das Feld wurde durch Anodenbatterien erzeugt. In den ungestörten Teil des Feldes wurde die Sonde seitlich eingeführt, so daß das etwas durchhängende Rohr nicht Flächen verschiedenen Potentials durchschneidet, sondern sich direkt in der Fläche selbst befindet. Am Modell geschah aber die Durchführung der Sonde von hinten durch dafür vorgesehene Löcher. Parallelmessungen im ungestörten Teil des Feldes lieferten die gleichen Werte, wenn man seitlich und von hinten die Sonde an die Abtaststelle bringt. Diese Gleichheit bezieht sich nur auf geringe Abstände von der in Höhe der Baumkronen des Modelles liegenden Platte. Bei einem Platten-

5. M. A. Tuve und C. Huff, Terrestr. Magn. **32**, 17, 1927.

6. H. Ebert und C. W. Lutz, Beitr. z. Phys. d. fr. Atmosph. **2**, 183, 1906—08. — W. Müller, Ann. d. Phys. **63**, 585, 1920. — C. W. Lutz, (l. c. Seite 6).

abstand von 60 cm wurde die Charakteristik des Feldes im ungestörten Teil und über der mit dem Wilson-Apparat benutzten Meßstelle aufgenommen. Dabei ergab sich, daß sich an beiden Stellen das Feld bis zu etwa 8 cm Abstand der Sonde von der Platte linear ändert. Da der Reduktionsfaktor für die Höhe 1 m über dem Netz des luftelektrischen Hauses gesucht wird, beschränkte ich mich auf diese Sondenabstände vom Modell bezw. von der Platte (Maßstab des Modelles 1 : 150, 8 cm im Modell entsprechen 12 m in der Natur). Mit der Feststellung der linearen Änderung des Potentialgefälles über dem luftelektrischen Haus wird erneut die günstige Wahl des Platzes und die Wichtigkeit des über dem luftelektrischen Haus ausgespannten Drahtnetzes bestätigt, das den Verlauf der Äquipotentialflächen ausgleichen soll. Der Gedanke, daß der Verlauf des Feldes über dem Modell bei verschiedenen Plattenabständen einer gewissen Änderung unterworfen ist, liegt nahe. Aus diesem Grunde variierte ich die Plattenabstände, um die daraus hervorgehenden Reduktionsfaktoren auf Unendlich reduzieren zu können. Die Messung ergab jedoch, daß der Reduktionsfaktor auch bei verschiedenen Plattenabständen nur kleinen Schwankungen in der zweiten Dezimale unterliegt. Man kann somit annehmen, daß der Abstand von 60 cm ausreichte, um derartige Fehlerquellen auszuschalten.

Die äußerst einfache Berechnung des Reduktionsfaktors ist schon bei E b e r t und L u t z (l. c. S. 9) zu finden. Danach ist nur eine bestimmte Potentialfläche im ungestörten Feld über der gestörten Stelle wieder aufzusuchen. Aus dem Verhältnis der beiden zugehörigen Abstände ergibt sich dann der Reduktionsfaktor R. Bei meinen Untersuchungen fand ich für R: 1,43, 1,38, 1,40 und 1,41. Die Potentialgefälle- und Strommessungen wären also mit dem Faktor 1,40 zu multiplizieren, um sie auf die Ebene zu reduzieren.

II. Bemerkungen zur Wilson-Apparatur.

1. Verbesserungen am Apparat.

Wilson benutzte ein Goldblattelektrometer, Lutz[1] verwandte zu seinen Messungen, die über ein Jahr verteilt sind, das Saitenelektrometer. Diese Lutzsche Arbeit enthält neben den Ergebnissen auch eine genaue Beschreibung der ebenso wie bei Wilson horizontal aufgestellten Apparatur und des Meßverfahrens, weswegen ich hier nur auf Abweichungen von Lutz eingehe. Inzwischen haben Lautner[2] und Fuchs und Scholz[3] dem Apparat einen vertikalen Aufbau gegeben, um ihn auf Bergstationen verwenden zu können. Bei ihnen wurde daher der das Empfangssystem abschirmende Deckel durch eine schwenkbare Platte ersetzt. Ich rüstete meinen nach Lutzschem Muster gebauten und dem modernen Lutz-Elektrometer angepaßten Apparat ebenfalls mit dieser Schwenkplatte aus. Auf diese Weise vermeidet man die mit dem Auf- und Abnehmen verbundenen Erschütterungen gänzlich, und hat ferner den Vorteil, keine Handhabungen im elektrischen Feld ausführen zu müssen. Die Empfindlichkeit des Elektrometers erfordert diese Rücksichtnahme; aus demselben Grunde muß auch der Erdkontakt gut arbeiten. Am Apparat fand ich einen mit Bajonettverschluß versehenen Stift vor, der zum Empfangssystem hin einen in den Stift hineinfedernden Bolzen trug. Dieser Erdschlüssel erwies sich als zu roh und wurde von mir durch einen anderen ersetzt. In der Höhe des alten Erdschlüssels befestigte ich am Empfangssystem einen aus dem elektrostatischen Schutzrohr hinausführenden Draht, an den durch leichte Drehung ein Stück Bronzedraht angelegt und abgehoben werden konnte. Dieser Schlüssel arbeitete dann zur vollsten Zufriedenheit.

---

1. C. W. Lutz, Sitzungsber. d. Kgl. Bayer. Akad. d. Wiss. Math.-Phys. Kl. 1911, S. 329.
2. P. Lautner, Dtsch. Met. Jahrb. f. Bayern 1928.
3. J. Fuchs und J. Scholz, Gerlands Beitr. z. Geophys. **27**, 176, 1930.

Ein weiterer Übelstand haftete dem Apparat noch dadurch an, daß der Schutzring und die Empfangsplatte aus dünnem Messingblech hergestellt waren und damit die Eichung des Apparates erschwerten, weil die Eichplatte jedesmal mühselig einjustiert werden mußte. Als im Frühjahr des Jahres 1933 die Ausschläge des Apparates durch kleiner werdenden Strom geringer wurden, entschloß ich mich, dem Apparat durch Umbau die in Abbildung (2) sichtbare Form zu geben. Die 5 mm starke planparallele Schutzringplatte

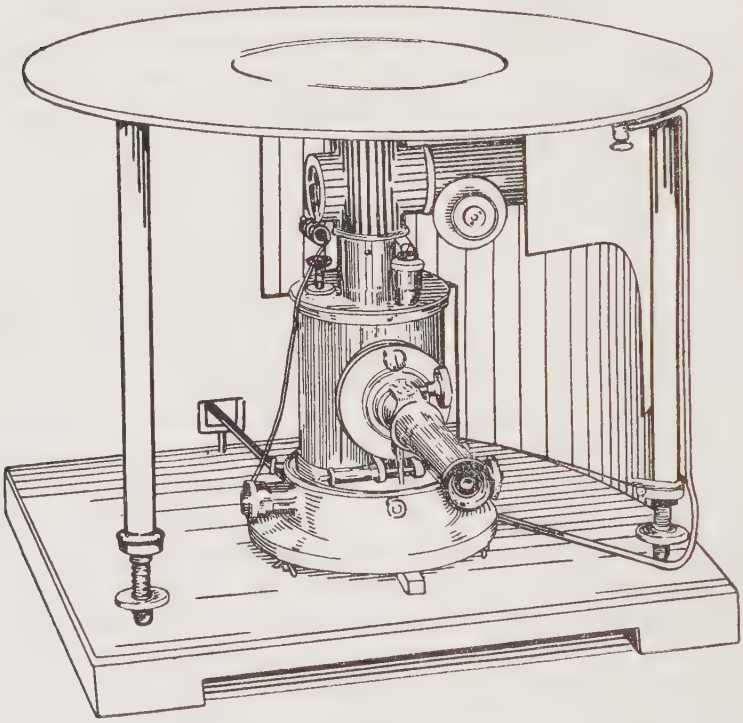


Abb. 2.

wurde für sich auf drei Füße und mit diesen auf ein Grundbrett gestellt. In die Füße greifen von unten auf der Grundplatte befestigte Regulierschrauben ein, die eine genaue Einstellung des Schutzringes mit der Empfangsplatte in einer Ebene gestatten. Die Empfangsplatte wurde, um den Meßeffekt zu steigern, vergrößert. Ihre wirksame Oberfläche betrug von da an statt 100 208 cm^2. In der Abbildung ist rechts vom Elektrometer ein Sonnenschutz zu

sehen, ohne den die Erhaltung einer einigermaßen konstanten Empfindlichkeit des Elektrometers unmöglich gewesen wäre. Aus der Abbildung ist weiter zu erkennen, daß mit Leichtigkeit eine präzise hergestellte Eichplatte auf den Schutzring so aufgestellt werden kann, daß der Abstand zwischen ihr und der Empfangsplatte genau definiert ist. In der Abbildung (3) ist die Potentiometerschaltung wiedergegeben, die zur Eichung des Apparates diente. Man kann mit einem Handgriff Schalter a öffnen und Schalter b schließen oder umgekehrt, eine unumgängliche Notwendigkeit, wenn man den Faden nicht gefährden will. Daß bei den Eichungen den Meßinstrumenten in jeder Beziehung die nötige Sorgfalt gewidmet wurde, bedarf wohl keiner besonderen Erwähnung.

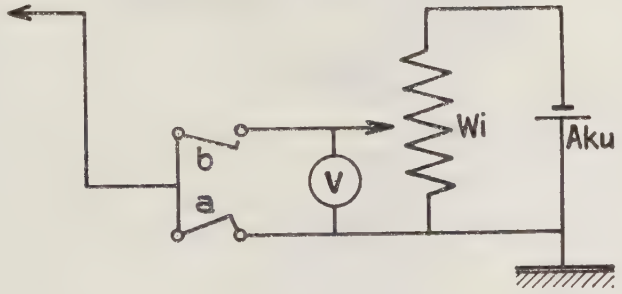


Abb. 3.

2. Aufstellung des Apparates.

In der Aufstellung des Apparates weiche ich vollkommen von der bisherigen ab. Über dem luftelektrischen Laboratorium, das unmittelbar an einem Abhang steht, ist das schon einmal erwähnte Drahtnetz ausgespannt, um den gestörten Verlauf der Niveauflächen nach Möglichkeit einzuebnen. Für Aufbauten von Apparaten liegt das Netz auf der Nordseite des Laboratoriums am günstigsten. Hier wurde eine größere Fläche mit dünnen Holzpfosten genau eingeebnet und mit Aluminiumblech belegt. In Abbildung (4) sieht man in dem Blech einen runden Ausschnitt, der zur Aufnahme des Schutzringes bestimmt ist. Durch einen verstellbaren Fuß unter dem Grundbrett des Apparates ist es möglich, den Schutzring in die Ebene des Bleches zu bringen. Verstellbarer Fuß und Grundbrett stehen auf einem Schemel, unter dem, in eine Kiste verpackt und gegen Wärmeeinfluß geschützt, die Anodenbatterien stehen. Der Wärmeschutz der Batterien ist stets zu empfehlen, wenn ihre

Lebensdauer nicht allzu früh durch Witterungseinfluß erschöpft sein soll. Die Nichtbeachtung dieser Vorsichtsmaßregel kann jegliche Messung wegen unkontrollierbarer Spannungsschwankungen der Batterien illusorisch machen. Der Schemel steht auf einem Tisch, der mit seinen Beinen tief in die Erde ragt und mit Spanndrähten gegen Winderschütterungen geschützt ist. Auf der linken

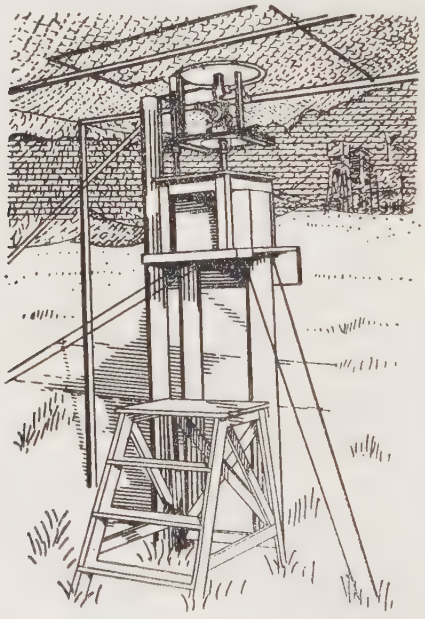


Abb. 4.

Seite (Abbildung 4) steht dicht neben dem Tisch ein starker Holzpfosten, an dem die schwenkbare Erdplatte befestigt ist. Erdplatte und Empfangssystem sind nur durch einen geringen Zwischenraum voneinander getrennt; außerdem reicht die Erdplatte in horizontaler Richtung noch einige Zentimeter über den Rand der Empfangsplatte hinaus, so daß eine Randstörung praktisch unmöglich ist. Das auf das Drahtnetz gelegte Blech soll verhindern, daß durch Konvektion oder mechanische Einflüsse unter dem Netz befindliche Ionen in die Nähe des Empfangssystems gelangen können, wodurch Fehler denkbar wären.

Abbildung (5) zeigt noch einmal schematisch den Aufbau des Apparates in Meßbereitschaft mit aller Deutlichkeit. D deutet das

Drahtnetz an, das man sich nach allen Seiten verlängert denken muß, H den Holzpfosten mit der schwenkbaren Erdplatte E, Em und K das Empfangssystem und den Kompensator; vom Elektrometer sind nur die Schneiden und der Faden zu sehen, um die Übersicht nicht zu erschweren. Die schraffierten Teile weisen auf Bernsteinisolatoren hin.

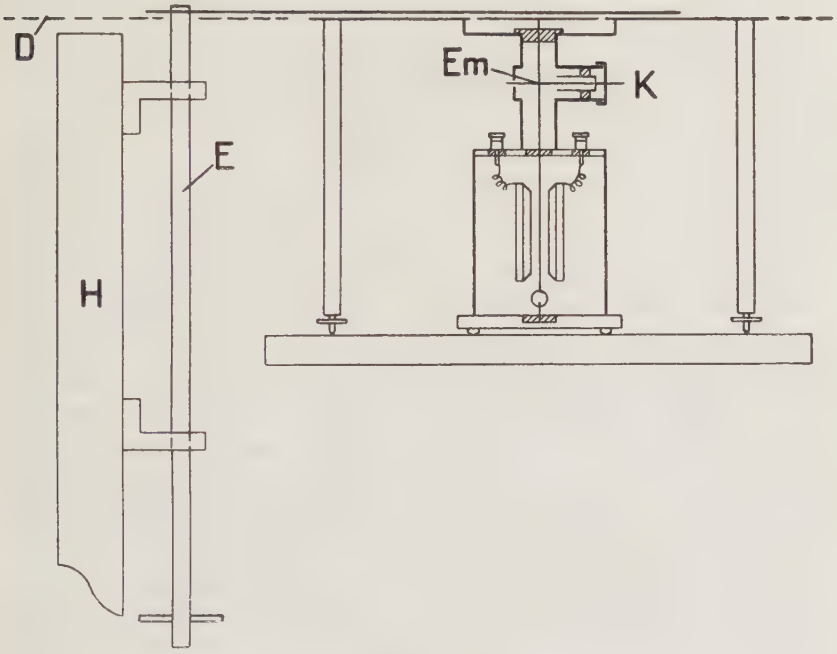


Abb. 5.

Mit der Verlegung des Empfangssystems in das Niveau der Erde ist der horizontale Aufbau der Apparatur denkbar günstig geworden. Das Hantieren am Apparat ist nicht mit Störungen der Niveauflächen verbunden, die man doch unter allen Umständen vermeiden will. Gerade die Auswahl eines empfindlichen Meßinstrumentes und die Nullmethode erfordert diese Sorgfalt.

III. Meßergebnisse.

1. Allgemeines.

a) Meßzeiten.

Soweit den Ergebnissen keine besonderen Zeitangaben beigefügt sind, haben die Vor- und Nachmittagsmessungen zwischen 10—11, bezw. gegen 16 Uhr stattgefunden. An einigen Tagen traten unwesentliche Abweichungen von den festgesetzten Terminen durch Witterungsverhältnisse oder durch andere Messungen, die wie die Messungen mit der Wilson-Apparatur im Meßprogramm des Internationalen Polarjahres 1932/33 lagen, ein. Im Winter wurde der Nachmittagstermin um 1 Stunde, also auf etwa 15 Uhr, vorverlegt. Im Laufe des Jahres traten drei kürzere Unterbrechungen in den Messungen ein: im Januar, im Februar und im März. Die zweite Januarhälfte hatte häufig neblige Tage, so daß zum erstenmal Isolationsschwierigkeiten in größerem Umfang auftraten. Gleich zu Beginn des folgenden Monats riß der Faden des Lutz-Elektrometers und machte das vollständige Auseinandernehmen, Justieren und Eichen der Apparatur notwendig. Im März entschloß ich mich, die auf Seite 11 beschriebenen Änderungen an der Apparatur vorzunehmen.

Im ganzen wurden 226 Messungen ausgeführt, von denen 161 auf den Vormittag und 65 auf den Nachmittag entfallen. Hinzu kommen noch ein paar nächtliche Dauermessungen über einige Stunden. In der Regel wurde eine halbstündige Messung durchgeführt. Eine Einzelmessung dauerte meist 5 Minuten. Es wurde aber auch bisweilen diese Zeit variiert, um entweder das unruhige Potentialgefälle verfolgen zu können oder auf systematische Fehler bei der Strommessung aufmerksam zu werden. Es zeigte sich jedoch, daß keine Unterschiede bei den einzelnen Stromwerten eintraten.

b) Ordnungsschema der Messungen.

Das Bestreben, etwas Konkretes über die geophysikalischen Eigenschaften des vertikalen Leitungsstromes zu finden, macht eine Zusammenstellung der Meßergebnisse nach verschiedenen meteorologischen Bedingungen unbedingt notwendig. Es wurden daher die gestörten Tage von den ungestörten getrennt. Als ungestörte Tage wurden die wolkenlosen, wenig bewölkten, Ci- und Cu-Tage betrachtet, an denen außerdem kein starker Dunst und Nebel vorhanden war. Als gestörte Tage gelten alle Stcu-, Nbst- und St-Tage, von denen bekannt ist, daß sie die Werte des Potentialgefälles herabsetzen, ferner die Tage mit Niederschlägen und Gewittern. Diese sechs Gruppen verschiedenen Witterungcharakters werden im folgenden beibehalten. Es besteht also der Witterungscharakter 1 bei wolkenlosem Wetter, 2 bei Ci- und Acu-Bewölkung und 3 bei Cu-Bewölkung. Witterungscharakter 4 herrschte, wenn der Himmel zur Zeit der Messung nicht ganz mit Stcu-,Nbst- oder St-Wolken bedeckt war. Bei vollkommen bedecktem Himmel besteht der Witterungscharakter 5 und 6 bei Niederschlägen und Gewittern. Die Tage mit dem Witterungscharakter 1—3 wurden auf ihren Zusammenhang mit Wind, Dampfdruck, Luftdruck, Sicht usw. untersucht. Diese unmittelbaren Zusammenhänge wurden ergänzt durch Untersuchungen an Luftkröpern. In diesen hat man eine ganz bestimmte Zusammenwirkung der meteorologischen Elemente zu erblicken, je nachdem, ob die Luft z. B. ozeanischer oder kontinentaler Herkunft ist. Die ersten Untersuchungen geben zum Teil Aufklärung über die lokale Beeinflussung, die zweiten über die Beeinflussung der das Klima eines Ortes bestimmenden Faktoren. Die Bestimmung der Luftkörper ist nicht ganz einfach. Häufig ergeben sich Wetterlagen, die mehrere Ansichten über die Herkunft des Luftkörpers zulassen. Dieser Unsicherheit wurde durch äußerste kritische gemeinsame Bearbeitung der Wetterlagen im Polarjahr von Herrn Professor Kähler, cand. phil. Brosse und mir entgegenzutreten versucht. Der Analyse der Luftkörper wurden die Bezeichnungen von Linke und Dinies[1] zugrunde gelegt. Benutzt wurden die Berliner und die Hamburger Seewarte-Wetterkarten mit ihren Angaben über Wind- und Temperaturverteilung vom Boden bis in die Höhe und die Beobachtungsergebnisse des Potsdamer Observatoriums.

---

1. F. Linke und E. Dinies, Das Wetter, **47**, 1, 1930.

c) Berechnung der Messungen.

In der Arbeit über den vertikalen Leitungsstrom hat Lutz (l. c. Seite 11) eine ausführliche Beschreibung über die Eichung des Apparates und über die Messung der luftelektrischen Elemente und deren Berechnung gegeben, so daß ich hier darauf verweisen kann. Um eine möglichst kurze Ausdrucksweise zu wahren, werden im folgenden für die Oberflächendichte $\sigma = \sigma' \times 10^{-4}$ e.s.e./cm², für den Vertikalstrom $i = i' \times 10^{-16}$ Amp/cm² und für die Leitfähigkeit $\lambda = \lambda' \times 10^{-5}$ e.s.e./sec. nur die Werte für σ', i' und λ' angegeben. Bei σ' ist stets das negative Vorzeichen zu ergänzen, wenn es nicht anders angegeben wird. Die direkte Proportionalität von σ zum Potentialgefälle macht es auch überflüssig, immer die Werte des Potentialgefälles in Volt/m anzugeben; die Werte sind nur an den wichtigsten Stellen, wo ein sofortiger Überblick erwünscht ist, mitgeteilt, sonst leicht durch das Produkt —37,7 σ' zu finden. σ' und i' müssen noch mit dem Reduktionsfaktor R (s. Seite 10) multipliziert werden, um die Absolutwerte zu erhalten. z gibt stets die Zahl der Tage an, aus denen das Mittel gebildet worden ist.

An dieser Stelle möchte ich darauf hinweisen, daß bei der Ermittelung von σ Gleichheit oder eine stetige Änderung der Oberflächendichte während der Messung vorausgesetzt wird. Die Verfolgung schneller Potentialgefälleschwankungen mit einem Einfadenelektrometer und einem darauf gesetzten radioaktiven Kollektor zeigten aber sofort, daß diese Voraussetzung nur im Idealfall zutrifft. So haftet dem durch Mittelung von σ_1 (Oberflächendichte am Anfang der ersten Messung) und σ_2 (Oberflächendichte am Anfang der nächstfolgenden Messung) gefundenen σ, eine gewisse Zufälligkeit an. Daraus ergibt sich aber, daß die aus σ und i berechnete Leitfähigkeit den Wert einer Rechengröße erhält und als solche auch behandelt wird. Bestärkt wird man darin noch durch die Tatsache, daß das „Ohmsche Gesetz der Atmosphäre“ noch nicht durch exakte gleichzeitige Messungen von Potentialgefälle, Strom und Leitfähigkeit auf seine unbedingte Gültigkeit hin geprüft worden ist.

2. Ergebnisse der ungestörten Tage.

a) Monatsmittel.

Vergleicht man das Jahresmittel (s. Tabelle 1) der mit dem Wilson-Apparat an ungestörten Tagen gefundenen Werte für Po-

tentialgefälle, Strom und Leitfähigkeit (Pg = 180 Volt/m, i = 1,14 $\times 10^{-16}$ Amp/cm², $\lambda = 5{,}7 \times 10^{-5}$ e.s.e./sec) mit den Werten, die Markgraf[2] für Potsdam an ungestörten Tagen über einen 10 bezw. 4jährigen Zeitraum ermittelte (Pg = 202 Volt/m, i = 2,27 $\times 10^{-16}$ Amp/cm², $\lambda = 9{,}7 \times 10^{-5}$ e.s.e./sec), dann kann man eine recht gute Übereinstimmung beim Potentialgefälle feststellen. Das starke Abweichen der Strom- und Leitfähigkeitswerte erklärt sich wohl daraus, daß bei Markgraf der Strom, bei mir die Leitfähigkeit berechnet wurde. Weil der Gesamtstrom sich nicht einfach als Summe aus dem positiv und negativ gerichteten Strom ergibt, sondern sehr komplexer Natur ist, kann man wohl vermuten, daß bei der Leitfähigkeit ähnliche Verhältnisse vorliegen müssen. Selbst der Einwand, daß die in den folgenden Tabellen angeführten Zahlen sich auf Meßzeiten zwischen 10 und 11 Uhr beziehen, während die von Markgraf berechneten Werte Gesamtmittel sind, reicht zur Erklärung der Abweichungen nicht aus.

Tabelle 1.

Monatsmittel aus den ungestörten Tagen.

		z		12^h Sicht in km		σ'		Potential-gefälle		i'		λ'	
ept.	1932	7	(2)	24	(12)	4,22	(3,76)	159	(142)	**1,73**	(1,71)	9,8	(10,9)
kt		5		26		3,44		129		1,47		**10,2**	
ov.		4		14		3,68		139		1,21		7,9	
ez.		5		8		6,31		238		1,60		6,1	
n.	1933	2		8		5,07		191		1,42		6,7	
eb.		2		14		**9,10**		**343**		0,72*		1,9*	
ärz		9	(5)	13	(10)	5,55	(5,31)	209	(200)	0,96	(0,92)	4,1	(4,1)
pril		8	(1)	29	(20)	3,11*	(2,83)	117*	(107)	0,76	(0,50)	5,8	(4,2)
ai		9		30		4,36		164		1,03		5,6	
ni		8		31		4,10		155		0,92		5,4	
li		13	(1)	28	(15)	4,68	(4,02)	176	(152)	0,99	(0,65)	5,1	(3,9)
ug.		15	(2)	33	(24)	3,78	(4,96)	142	(187)	0,90	(0,81)	5,7	(4,8)
ittel				22		4,78		180		1,14		5,7	

Tabelle (1) gibt die Zusammenstellung der Monatsmittel an ungestörten Vormittagen. Der Gang des Potentialgefälles nimmt bis auf die etwas zu hohen Werte im Sommer den zu erwartenden Verlauf, wie es auch aus Tabelle (2) zu erkennen ist. σ und λ ver-

2. H. Markgraf, Met. ZS. **41,** 65 und 165, 1924.

laufen vollständig spiegelbildlich, während bei i eine unmittelbare Gesetzmäßigkeit zu σ oder λ nicht zu erkennen ist. Aus Tabelle (2) ist auch eine Verschiebung des Leitfähigkeits- und Strommaximum zum Herbst ersichtlich. Im allgemeinen sind die höchsten Leitfähigkeiten im Sommer und die höchsten Ströme im Winter zu erwarten. Aus Tabelle (1) erkennt man weiter, daß i doch größere

Tabelle 2.

Ungestörte Tage;
gemittelt nach Jahreszeiten.

	Sept. — Nov.	Dez. — Feb.	März — Mai	Juni — Aug.
σ'	3,78	6,83	4,34	4,19
i'	1,47	1,25	0,92	0,94
λ'	9,3	4,4	5,1	5,4

Abweichungen vom Mittelwert annehmen kann, als bisher vermutet wurde. Dies zeigen vor allem auch die Einzelmessungen, die ebenfalls wie die anderen luftelektrischen Elemente schnellen Schwankungen unterworfen sind. Die in Tabelle (1) eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf Tage, an denen Dunst oder Nebel geherrscht hat. Die Werte liegen fast überall, bei i durchweg tiefer, als die dazugehörigen Monatsmittel. Dabei handelt es sich nur um schwache Trübungen der Luft. Die Ungleichmäßigkeit des in den einzelnen Monaten gesammelten Materials tritt besonders im Januar und Februar hervor. Der Vollständigkeit halber sind aber die Mittelwerte in der Tabelle mit aufgenommen.

Ein Vergleich der Monatsmittel der Vormittagsmessungen von allen Tagen (s. Tab. 3) mit den Mitteln der ungestörten Tage ist sehr lehrreich. Im Jahresmittel ist das Potentialgefälle an ungestörten Tagen höher, der Strom und die Leitfähigkeit niedriger als das Mittel aus allen Tagen (Pg = 180 Volt/m an ungestörten Tagen gegenüber 158 Volt/m an allen Tagen, entsprechend für i' : 1,14 und 1,37; für λ' : 5,7 und 7,8). Beim Vergleich der einzelnen Monatsmittel unter sich ergeben sich an ungestörten Tagen auch meistens höhere Potentialgefälle- und tiefere Leitfähigkeitswerte als im Mittel aus allen Tagen. Die Ausnahmen im September, November und April zeigen einen entgegengesetzten Verlauf von σ und λ; so ist z. B. im September an den ungestörten Tagen σ niedriger und λ höher als im Mittel aus allen Septembertagen. Das gleiche

gilt für den November und April. Nur der August macht eine Ausnahme. Auffallend ist noch, daß vom September bis Januar die ungestörten Tage ein tieferes i und vom Februar an (abgesehen vom April) ein höheres oder gleiches i als die Monate in Tabelle (3) zeigen. Eine Erklärung dafür ist auf Seite 36 gegeben.

Tabelle 3.

Monatsmittel aus allen Tagen.

	z	σ'	Pot.-gef.	i'	λ'
Sept. 1932	9	5,11	193	2,01	9,4
Okt.	13	3,11*	117*	1,53	11,8
Nov.	7	4,30	154	1,28	7,1
Dez.	12	4,59	173	**3,49**	**18,2**
Jan. 1933	4	4,26	161	2,12	11,9
Feb.	6	**5,19**	**196**	0,68*	3,1*
März	13	4,87	184	0,90	4,4
April	13	3,53	133	0,83	5,6
Mai	14	3,62	136	0,91	6,0
Juni	15	3,58	135	0,92	6,1
Juli	16	4,52	170	0,98	5,2
Aug.	19	3,67	138	0,84	5,5
Mittel		4,20	158	1,37	7,8

b) Einfluß der meteorologischen Elemente.

a) Sicht, relative Feuchtigkeit und Dampfdruck.

Sieht man von dem Sichtintervall 0 — 10 km ab, so kann man in Tabelle (4) im Herbst, Frühling und Sommer eine Zunahme des Stromes mit zunehmender Sicht herauslesen (s. auch Lutz [l. c. Seite 11] auf Seite 353). Deutlich wird die Zunahme im Jahresmittel. Den gleichen Zusammenhang hat auch die Leitfähigkeit mit der Sicht, während beim Potentialgefälle eine Abnahme mit besser werdender Sicht zu erkennen ist, was in den einzelnen Jahreszeiten nicht zum Ausdruck kommt. Das Anwachsen des Stromes bei unter 10 km liegender Sicht ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß den Hauptanteil zum Strom nicht mehr die leichtbeweglichen, sondern schwere Ionen liefern müssen. Das würde aber bedeuten, daß ein atmosphärischer Trübungsgrad vorhanden ist, der zu gleichen Teilen die leichten und schweren Ionen strombildend wirksam sein läßt. Bei besserer Sicht üben die leichten den Haupteinfluß auf den Strom aus, bei schlechterer die schweren Ionen.

Tabelle 4.

Die Sicht und die luftelektrischen Elemente.

		0—10 km	11—20 km	21—30 km	31—40 km	> 40 km
	z	1	7	5	2	1
Herbst	σ'	2,90	3,75	4,02	4,58	3,04
	i'	2,16	1,24	1,37	1,85	2,96
	λ'	17,8	7,9	8,1	9,6	23,3
	z	8	—	—	—	—
Winter	σ'	6,07	—	—	—	—
	i'	1,45	—	—	—	—
	λ'	5,7	—	—	—	—
	z	5	7	7	5	2
Frühling	σ'	4,35	5,87	3,80	3,29	4,30
	i'	0,79	0,95	1,02	0,80	1,16
	λ'	4,3	3,9	6,4	5,8	6,4
	z	1	6	12	12	5
Sommer	σ'	4,97	3,96	3,91	4,64	3,80
	i'	1,54	0,81	0,72	1,08	1,11
	λ'	7,4	4,9	4,4	5,6	7,0
	z	15	20	24	19	8
Jahres-	σ'	4,57	4,53	3,94	4,17	3,71
mittel	i'	1,43	1,00	1,04	1,24	1,74
	λ'	7,5	5,3	6,4	7,1	11,2

Dadurch wird man auf eine genaue Untersuchung der die Trübung verursachenden Faktoren geführt. Nach Koschmieder[3] läßt sich die Sichtweite als Quotient aus einer Konstanten im Zähler und Extinktionskoeffizienten im Nenner auffassen. Er macht zuvor eine Reihe von vereinfachenden Annahmen. Ferner ist bei ihm die optische Trübung nicht erwähnt. Daß diese imstande ist, beachtsame Wirkungen auszuüben, wird durch einen Versuch von Christiansen[4] bestätigt. Ferner sei noch die von Schmauß[5] gemachte Annahme erwähnt, daß die kleinen trübenden Teilchen

3. F. Linke, Met. Taschenbuch II, Seite 43, Leipzig, Akad. Verlagsbuchhandlung.

4. Hann-Süring, Lehrb. d. Met., 4. Auflage, Seite 18.

5. A. Schmauß u. A. Wigand, Die Atmosphäre als Kolloid, Sammlg. Vieweg, Braunschweig. 1929.

zu größeren Aggregaten zusammentreten oder sich wieder in kleinere aufteilen können und damit ebenfalls die Sicht beeinflussen. Nun konnten Linke und v. dem Borne[6] zeigen, daß sich der Extinktionskoeffizient aus der Summe der Molekularzerstreuung ε_1 und der Dunstzerstreung ε_2 ergibt. ε_2 wird von den trübenden Teilchen von der Größenordnung der Wellenlänge des Lichtes hervorgerufen. Es ist $\varepsilon_2 = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}$, wo β die Trübungsmasse, λ die Wellenlänge in μ ist und $1/\alpha$ die Größe der trübenden Teilchen charakterisiert. Wenn die Sichtformel von Koschmieder richtig ist, dann erkennt man sofort, daß trübe Luft größere Aerosole aufweisen muß, wenn $\varepsilon_1 = 0{,}0082\ \lambda^{-4{,}05}$ (Rayleigh, Planck, Abbot) als angenähert konstant betrachtet wird. Denkt man weiter daran, daß das Kriterium für die verschiedenen Beugungsstufen $\frac{2r}{\lambda} \lesseqgtr 1$ ist (r = Radius der trübenden Teilchen), so ist damit der Einfluß von ε_2 auf die Sicht bewiesen.

Wendet man diesen Überlegungen auf die luftelektrischen Elemente i und λ an, dann würde eine Abnahme von i und λ mit schlechter werdender Sicht — abgesehen vom 0 — 10 km-Intervall, das weiter unten behandelt wird — so gedeutet werden müssen, daß die große Zahl die schlechte Sicht hervorrufenden Partikelchen (etwa vom Radius 3×10^{-5}, s. Linke und v. dem Borne) die Lebensdauer der leichtbeweglichen Ionen verkürzt und deren Anteil am Gesamtstrom und Leitfähigkeit schmälert. Besonderes Interesse verdient der von Linke und v. dem Borne mitgeteilte mittlere Radius der die Dunstzerstreuung fördernden Partikelchen, da er nahezu die Größenordnung des Radius der schwerstbeweglichen Träger erreicht.

In Tabelle (5) ist bei Vorhandensein einer größeren Anzahl von Tagen für ein bestimmtes Intervall der relativen Feuchtigkeit mit höheren Feuchtigkeiten eine Stromzunahme zu erkennen. Dies muß sich folgendermaßen erklären: Ist eine Luftmenge mit dem Dampfdruck e gegeben, und denkt man sich diese Luftmenge mit Partikelchen der verschiedensten Radien erfüllt, so findet man bei einer bestimmten Partikelgröße das Gleichgewicht zwischen Hygroskopizität und Verdampfung. Und zwar ist dieses Gleichgewicht bei wachsender relativer Feuchtigkeit bei größer werdenden Radien zu finden. Alle Partikel, die größer sind als der Grenz-

6. F. Linke u. H. v. d. Borne, Gerlands Beitr. z. Geophys. **37**, 49, 1932.

Tabelle 5.

Die relative Feuchtigkeit in Prozenten und die luftelektrischen Elemente.

		< 30	30—39	40—49	50—59	60—69	70—79	> 80
	z	5	14	18	21	13	12	2
Jahres-	σ'	2,75	3,69	4,23	4,78	4,53	4,98	4,10
mittel	i'	0,75	0,86	0,94	1,23	1,21	1,45	1,09
	λ'	6,5	5,6	5,3	6,1	6,4	7,0	6,4

fall, zeichnen sich durch ein Überwiegen der Verdampfung aus, und die unter dem Grenzfall liegenden können schließlich Nebeltröpfchen bilden. Mit steigender relativer Feuchtigkeit und dem damit verbundenen Anwachsen der Radien der „Gleichgewichtspartikelchen" muß auch die Wahrscheinlichkeit steigen, daß die leichtbeweglichen Ionen ihre Ladung an die großen Partikel abgeben. Es entsteht eine große Anzahl positiver und negativer schwerer Ionen, die dem Massenaustausch der Atmosphäre unterliegen und außerdem den Kräften im elektrischen Feld folgen. Nur so kann man es sich wohl erklären, daß bei zunehmender relativer Feuchtigkeit der Strom wächst. Dieses Untersuchungsergebnis fand auch Lutz (l. c. Seite 11) bei seinen Messungen, ohne dazu ausreichend Stellung zu nehmen. Wenn bei Lutz eine bei den Potsdamer Werten fehlende Stromzunahme bei einer relativen Feuchtigkeit unter 50% zu beobachten ist, dann liegt es wohl an der durch die Höhenlage Münchens bedingten größeren Zahl leichtbeweglicher Ionen.

Zusammenfassend läßt sich über den Zusammenhang der Sicht und der relativen Feuchtigkeit mit dem Strom folgendes sagen: Der Strom nimmt mit abnehmender Sicht ab, um bei geringsten Sichtweiten wieder anzusteigen; mit der Zunahme der relativen Feuchtigkeit ist eine Zunahme des Stromes verbunden.

Man könnte sich mit diesem Ergebnis zufrieden geben, wenn man nicht wüßte, daß die relative Feuchtigkeit und die Sicht ebenfalls in einem innigen Verhältnis zueinander stehen. Zwei Mitarbeiter von Vilho Väisälä[7] fanden das zu erwartende Resultat, daß die Sicht, nach einzelnen Temperaturgruppen geordnet, mit zunehmender relativer Feuchtigkeit abnimmt. Weit deutlicher tritt diese Abnahme noch bei Zusammenfassung aller Temperatur-

7. Vilho Väisälä, Soc. Scient. Fennica; Com. Phys.-Math. II/18.

gruppen hervor. Auch für Potsdam konnte ich dieselbe Abhängigkeit zwischen Sicht und relativer Feuchtigkeit für die ungestörten Tage feststellen. Damit entsteht aber in bezug auf die Strommessungen ein scheinbarer Widerspruch, der unbedingt einer Erklärung bedarf. Der Grund dafür ist darin zu suchen, daß die relative Feuchtigkeit einen Einfluß auf die mechanische Trübung der Atmosphäre hat, optisch aber nicht wirksam ist. Mechanischer und optischer Einfluß überdecken sich also bei der Sicht. Betrachtet man die Sicht unter diesem Gesichtspunkt, dann kommt man zu äußerst verwickelten und nicht trennbaren Zusammenhängen. In Wirklichkeit fallen außerdem noch einige vereinfachende Voraussetzungen bei der Berechnung der Sicht nach Koschmieder fort. Damit wäre aber gezeigt, daß es sich bei den Zusammenhängen zwischen Sicht, relativer Feuchtigkeit und Strom nicht um in sich zurückkehrende Vorgänge handelt, sondern daß zwischen ihnen ein wesentliches Glied fehlen muß. Deswegen darf man auch das Ergebnis nicht als Widerspruch betrachten, sondern muß es solange als reell hinnehmen, solange nicht Eindeutigkeit in die Vorgänge gebracht ist.

Mit diesen Überlegungen wäre man zu demselben Ergebnis gelangt, das schon Gerdien[8] im Jahre 1905 gefunden hat, nämlich: Der Vertikalstrom setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Die eine ergibt sich aus den die leichten Ionen erzeugenden Vorgängen in der Atmosphäre, und die andere aus den schweren Trägern, die durch das elektrische Feld oder durch Konvektion zur Messung gelangen.

Eine Ordnung des Materials nach dem Dampfdruck kann zu keinem Ergebnis führen, da wir zu derselben Tageszeit im Winter niedrigeren Dampfdruck haben als im Sommer, also bei einer solchen Ordnung der jährliche Gang hervortreten muß. Führt man verschiedene Temperaturgruppen ein, dann gelangt man wieder zur relativen Feuchtigkeit, die schon einer Diskussion unterzogen worden ist.

β) Wind und Austausch.

Gerdien hat im Jahre 1905 auf die starke Abweichung aufmerksam gemacht bei Berechnung der Raumladung aus dem Potentialgradienten und aus der Differenz von $E_+ - E_-$ (die mit

8. H. Gerdien, Phys. Zeitschr. **6**, 647, 1905.

dem Ebertschen Ionenzähler gemessen wurden). Er kommt zu der Annahme, daß sich neben den leichtbeweglichen Ionen auch die schweren, die damals gerade entdeckt waren, an der Ausbildung der Raumladung beteiligen müssen. Dadurch gelangte er für die einzelnen Stromkomponenten zu den folgenden Formeln:

$$i_x = -\frac{dV}{dx} \cdot \lambda + \sum_1^k \varrho_k G_{kx}$$

$$i_y = -\frac{dV}{dy} \cdot \lambda + \sum_1^k \varrho_k G_{ky}$$

$$i_z = -\frac{dV}{dz} \cdot \lambda + \sum_1^k \varrho_k G_{kz}$$

Danach setzt sich der Strom in den einzelnen Richtungen aus dem dem elektrischen Feld folgenden Ionenstrom und aus dem durch Konvektion hervorgerufenen Ionenstrom zusammen. ϱ_k ist die räumliche Ladungsdichte mit der Grenzbeweglichkeit G_k; dV/dx die Änderung der Feldstärke in der x-Richtung und λ die Leitfähigkeit. Der Gesamtstrom setzt sich also aus drei verschiedenen Komponenten zusammen. Bei den beiden Horizontalkomponenten ist der dem elektrischen Feld folgende Anteil am Strom wohl sehr gering, da sich durch die dauernde Durchmischung der Luft keine wesentlichen Felddifferenzen in der Horizontalen herausbilden können. Dagegen kann man durch Rechnung leicht nachweisen, daß schon geringe horizontale Windgeschwindigkeiten genügen, um Ströme von der Größenordnung des mit dem Wilson-Apparat gemessenen Stromes zu erhalten. Allerdings liefert dieser Strom nur dadurch einen Beitrag zu dem gemessenen Strom, daß ein Teil der Flugbahnen der schweren Ionen auf dem Empfangssystem des Apparates endet. Bei der Diskussion der Dichte des vertikalen Konvektionsstromes wird man auf die Ergebnisse des Massenaustausches zurückgreifen, wie sie bei W. Schmidt[9] in einer zusammenfassenden Darlegung zu finden sind. Nach Schmidt (Seite 86) sind die sich aus den wachsenden Windgeschwindigkeiten über dem Boden ergebenden Bewegungsunterschiede und die damit verbundenen Scherkräfte S dem Geschwindigkeitsgefälle des Windes s' und der Austauschgröße A direkt proportional. Es ist

9. W. Schmidt, Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen, Probl. d. kosm. Phys., Hamburg, Henri Grand, 1925.

also

$$S = -A \cdot s'$$

Das negative Vorzeichen ergibt sich aus der nach unten gerichteten Bewegungsgröße. Macht man, wie Schmidt, die Annahme, daß für die untersten Schichten S gleichbleibt, dann ergibt sich für A ein entgegengesetztes Verhalten zu s'. An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, daß hier A nur einen Teil zum gesamten Austausch beisteuert. Die wirkliche Austauschgröße ergibt sich erst, wenn man die aus der kinetischen Gastheorie bekannten Wirkungen erfassen könnte, welche die Temperaturverhältnisse, die Vorgänge bei der Diffusion, die nur eine untergeordnete Rolle spielen werden, und die die Reibungsverhältnisse in der Luft ausüben. Bei meinen Messungen läßt sich der Austausch nur durch eine Ordnung der Werte nach dem Windgeschwindigkeitsunterschied zwischen Turm und Wiese erfassen, da der Temperaturverlauf mit der Höhe nicht ständig gemessen wird.

Vereint man die drei Gerdienschen Gleichungen unter Vernachlässigung der horizontalen Feldkomponenten des Stromes zu einer Gleichung für den Gesamtstrom, so ergibt sich:

$$i = -\frac{dV}{dh} \cdot \lambda + \sum_{1}^{k} \varrho_k G_{kx} + \sum_{1}^{k} \varrho_k G_{ky} + \sum_{1}^{k} \varrho_k G_{kz}$$

Nun ist ganz allgemein genommen $\varrho_k G_k = E_+ - E_-$, wo $E_+ = \sum_{0}^{\infty} nk_+ \varepsilon$ und $E_- = \sum_{0}^{\infty} n \cdot k_- \cdot \varepsilon$ ist; k ist von der untersten bis zur obersten Grenzbeweglichkeit der Träger zu variieren. Würde man das in die Gleichung für i einsetzen, dann sähe man, daß bei dem dem Massenaustausch unterliegenden Teil der Formel durch den Austausch positive und negative Ladungen zum Meßsystem gelangen. Starkes Überwiegen der einen Ladung wird sich also im Strom ausdrücken müssen. Dieser Umstand wirkt bei der Klärung der komplexen Natur des Stromes hindernd, während eine Zusammenstellung des Meßmaterials nach dem thermischen Austausch mit Sicherheit einen noch besseren Überblick vermitteln könnte.

In den beiden Tabellen (6 und 7) ist die Differenz der Windgeschwindigkeiten in m/sec zwischen Turm und Wiese gebildet und nach folgenden Gruppen gemittelt worden: 1,5, 1,5—2,4, 2,5—3,5, 3,5.

Tabelle (6) zeigt den Einfluß der verschiedenen Winddifferenzen zwischen Turm und Wiese auf das Jahresmittel der luft-

Tabelle 6.

Massenaustausch und die luftelektrischen Elemente im Jahresmittel.

$< 1{,}5$				$1{,}5 — 2{,}4$				$2{,}5 — 3{,}5$				$> 3{,}5$			
σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z
4,16	1,15	6,6	12	4,21	1,08	6,1	21	4,25	1,07	6,0	29	4,74	1,13	5,7	23

Tabelle 7.

Massenaustausch und die luftelektrischen Elemente bei verschiedenen Luftkörpern.

	$< 1{,}5$				$1{,}5 — 2{,}4$				$2{,}5 — 3{,}5$				$> 3{,}5$			
Luftkörper	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z
Kontinentalluft	4,98	0,94	4,5	3	5,28	0,81	3,7	5	3,78	0,99	6,3	7	4,72	1,10	5,6	8
Indifferente Luft	4,12	1,13	6,6	4	4,25	0,87	4,9	5	4,61	1,07	5,5	4	4,25	1,13	6,4	2

elektrischen Elemente. Mit kleiner werdendem Austausch ist eine Abnahme der Leitfähigkeit und eine Zunahme der Oberflächendichte verbunden. Beim Strom ist zunächst eine Abnahme und dann eine Zunahme festzustellen. Dies würde die Annahme, daß der Strom aus zwei Komponenten besteht, erneut bestätigen. Und zwar muß das Ergebnis so gedeutet werden, daß bei geringem Austausch die Möglichkeit der leichten Ionen zur Molisierung und die Heranführung schwerer Ionen durch mechanische Einflüsse gering ist, wodurch ein größerer Strom entstehen könnte. Mit dem Wachsen der Turbulenz der Luft wird der Anteil der kleinen Ionen am Gesamtstrom zunächst so geschmälert, daß er durch die schweren Ionen noch nicht ersetzt werden kann. Erst bei noch stärkeren Turbulenzen überwiegt die Zahl der schweren Ionen und liefert einen derartigen Beitrag zum Strom, daß dieser wieder ansteigt.

Das gleiche Verhalten ist auch aus Tabelle (7) ersichtlich. Hier wurden die luftelektrischen Elemente bei kontinentaler und indifferenter Luft mit den Winddifferenzen verglichen, da in diesen Luftkörpern am häufigsten gemessen wurde. Man sieht, daß in Tabelle (7) der Einfluß des Austausches viel schärfer zum Ausdruck kommt als in Tabelle (6), die alle Luftkörper umfaßt.

Nach diesen Ergebnissen erscheint doch die Meinung berechtigt, daß den leichten und schweren Ionen beim Strom das gleiche Gewicht zukommt, was G e r d i e n nur vermutet hat.

Die Meßergebnisse, geordnet nach den Windrichtungen, sind in Tabelle (8) wiedergegeben. Bei der Mittelung wurde folgendermaßen vorgegangen: Alle Werte bei WSW-, W- und WNW-Wind

Tabelle 8.

Abhängigkeit von σ, i und λ von den Windrichtungen.

	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W
z	15	8	8	19	13	6	15	24
σ'	4,50	4,83	4,76	4,27	4,41	5,54	4,33	4,19
i'	1,16	1,02	0,88	1,01	1,24	1,10	1,17	1,07
λ'	6,2	5,0	4,4	5,7	6,7	4,7	6,5	6,1

wurden gemittelt und der Westrichtung zugeteilt; aus den Werten bei WNW-, NW- und NNW-Wind ergab sich der Mittelwert für den NW-Wind usw. Die NW-, N-, NE- und E-Winde stehen unter Stadteinfluß. Im Gesamtmittel ergäbe sich für sie $\sigma' = 4{,}31$, $i' = 0{,}99$ und $\lambda' = 5{,}5$; für die SE- bis W-Winde werden $\sigma' = 4{,}53$,

i' = 1,16 und λ' = 6,1. Man sieht, daß durch den Stadteinfluß alle Werte erniedrigt werden, doch sind die Unterschiede nicht sehr erheblich.

Ganz interessant ist vielleicht das folgende Ergebnis. Teilt man die Werte für i in mehrere Gruppen: i' < 0,60, 0,60 < i' < 1,00, 1,00 < i' < 1,50 und i' > 1,50 und untersucht die Häufigkeit der Windrichtungen für die einzelnen Gruppen, so ergibt sich, daß die größten Stromwerte am häufigsten bei SE-Winden eintraten. Für die nächst niedere Gruppe waren vor allem E-, NW- und W-Winde bevorzugt. W- und SW-Winde herrschten zwischen 0,60 und 1,00 vor. Man sieht hieraus deutlich, daß, obwohl der Westen und Südwesten keinen Stadteinfluß zeigen, die Windrichtung nur dann eine wesentliche Rolle spielen kann, wenn unmittelbar am Meßplatz starke Störungsursachen vorhanden sind. Wesentlich für die Höhe der Stromwerte ist aber die verschiedene Herkunft der Luft, vor allem dann, wenn der Luftkörper seinen ursprünglichen Charakter behalten hat.

γ) Luftdruck und Bodentemperatur.

Die aus dem Erdboden tretenden Emanationen tragen zur Ionisierung der Atmosphäre bei. Da das gasförmige Zerfallsprodukt den Gesetzen der Diffusion gehorchen muß, wird umsomehr Emanation aus dem Erdboden in die freie Luft diffundieren, je größer der Diffusionskoeffizient wird. Die Größe dieses Koeffizienten hängt aber unmittelbar von zwei meteorologischen Faktoren, Luftdruck und Bodentemperatur, ab, weswegen der Vergleich der Messungen mit diesen Elementen auch am naheliegendsten ist. Es ist nämlich der Diffusionskoeffizient dem Druck umgekehrt und der Temperatur direkt proportional.

Wie aus Tabelle (9) zu ersehen ist — Δt bedeutet die Temperaturzunahme zwischen 8—14 Uhr, und die Indices beziehen sich auf die Bodentiefe in cm — kann man für den Sommer und Herbst ein Steigen des Stromes bei größerer Bodentemperaturänderung herauslesen. Der Winter und Frühling zeigt ein dazu entgegengesetztes Verhalten. Messungen des Ausgleichstromes an geerdeten Antennen von Schindelhauer[10] ergaben, daß im Winter mit einer größeren Bodentemperaturänderung zwischen 8

10. F. Schindelhauer, Phys. Zeitschr. **23**, 36, 1922, und **29**, 479, 1928.

und 14 Uhr der Ausgleichstrom anstieg, im Sommer dagegen größere Ausgleichströme bei geringeren Bodentemperaturänderungen eintraten.

Tabelle 9.

Die Bodentemperatur und die luftelektrischen Elemente.

	z	i'	Δt_2	Δt_5	Δt_{10}	Δt_{20}	σ'	λ'
	4	$i' < 1{,}10$	5,1	4,7	3,8	2,0	3,84	6,2
Herbst	6	$1{,}10 < i' < 1{,}50$	9,9	8,9	7,1	3,6	4,15	7,6
	6	$i' > 1{,}50$	8,9	8,4	7,1	4,0	3,53	14,0
	1	$i' < 0{,}90$	4,4	4,2	3,3	1,1	6,86	2,7
Winter	4	$0{,}90 < i' < 1{,}50$	2,4	2,2	1,3	0,1	4,15	7,7
	3	$i' > 1{,}50$	1,4	1,0	0,6	0,2	7,03	6,2
	4	$i' < 0{,}60$	12,5	11,6	9,3	5,3	2,99	4,2
Frühling	16	$0{,}60 < i' < 1{,}10$	11,3	10,4	8,8	4,9	4,16	5,7
	6	$i' > 1{,}10$	9,5	8,4	6,9	3,8	5,28	5,9
	5	$i' < 0{,}60$	11,2	10,3	8,8	5,0	3,60	3,3
Sommer	22	$0{,}60 < i' < 1{,}10$	11,9	11,1	9,9	5,5	4,45	4,6
	9	$i' > 1{,}10$	12,5	10,8	9,3	5,1	4,82	7,1

Die schwach ausgeprägte Beziehung des Stromes zur Bodentemperatur — vor allem im Herbst und Sommer — kann man vielleicht so erklären: Obwohl die Ionisierungsstärke der Bodenluft nach den Untersuchungen von Ebert und Kurz[11] ein Vielfaches ist von dem Ionisierungsvermögen der freien Luft, etwa 1 m über dem Boden, ist dieser Effekt zwischen Boden und Drahtnetz (ungefähr 2,5 m Unterschied) ziemlich verwischt, weil:

1. die Emanationen durch das Drahtnetz hindurchdiffundieren müssen;
2. der Apparat nicht dauernd im Freien steht und damit einer ständigen Adsorption von Emanationen entzogen ist;
3. vor allem der Apparat sich im Niveau der Erde befindet und deswegen nicht mit geerdeten Antennen wie bei Schindelhauer verglichen werden kann, die relativ zur Erde ein größeres negatives Potential haben, was die Ionenadsorption erheblich heraufsetzt.

11. H. Ebert und K. Kurz, Phys. Zeitschr. **11**, 389, 1910.

Ein direkter Zusammenhang im Verhalten des Stromes mit der Luftdruckänderung konnte nicht gefunden werden. Es müssen hier die gleichen Gründe wie bei der Bodentemperatur vorliegen. Ferner muß, wie aus Tabelle (10) hervorgeht, der Einfluß des Wetters dem des Luftdruckes auf die Bodenatmung weit überwiegen. Abgesehen von wenigen Ausnahmen, bei denen durch polar-maritime Luftzufuhr die Luftdruckänderung positiv war, nahm während der Hauptmeßzeit von 10—11 Uhr der Luftdruck meistens ab oder blieb gleich. Bei stark steigendem Druck, wo an sich eine Stromerniedrigung eintreten müßte, wurden in polar-maritimer Luft recht hohe Werte gemessen; die niedrigsten Stromwerte traten bei stark fallendem Barometer und indifferenter Luft ein.

Tabelle 10.

Barometrische Tendenz von 12h mittags — 12h mittags und die luftelektrischen Elemente.

In ( ) Zahl der Messungen.

	Steigt			Konstant			Fällt		
	σ'	i'	λ'	σ'	i'	λ'	σ'	i'	λ'
Herbst	3,53	1,47	10,0 (6)	4,63	1,27	6,6 (5)	3,42	1,84	12,9 (5)
Winter	5,84	1,65	6,8 (1)	6,35	1,61	6,1 (4)	5,23	1,38	6,3 (2)
Frühling	4,44	0,99	5,3 (3)	4,53	0,98	5,2 (12)	3,70	0,84	5,4 (11)
Sommer	4,35	1,01	5,5 (8)	4,19	0,98	5,6 (12)	4,08	0,87	5,1 (16)
Jahr	4,17	1,19	6,8	4,64	1,10	5,7	3,93	1,03	6,3

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Messungen nicht ausreichen, um den hinter anderen Faktoren sicher zurückstehenden Einfluß von Bodentemperatur und Luftdruck zu beweisen. Es ist zu erwarten, daß längere Meßreihen (Registrierungen) diesen Beweis zu erbringen vermögen.

δ) Wolkeneinfluß.

Der Strom zeigt im Jahresmittel keine Unterschiede an Tagen mit dem Witterungscharakter 1, 2 und 3. Die Werte für i' sind 1,15, 1,18 und 1,17. Bei der Oberflächendichte ergeben sich die Mittelwerte: 4,58, 4,70 und 3,97. Hier zeigt sich also für den Witterungscharakter 3 ein den übrigen Tagen gegenüber niedrigerer Wert. Die entsprechenden Zahlen für die Leitfähigkeit sind 6,0, 6,0 und 7,0.

In der Tabelle (11) ist der Bewölkungseinfluß nach Jahreszeiten zusammengestellt. Mit Ausnahme vom Sommer ist mit einer Änderung des Witterungscharakters zu tieferen Wolken ein Steigen des Stromes zu beobachten. Jedoch überdecken sich dabei schon so viele Einzelvorgänge, daß ein Eingehen auf Einzelheiten zu keinem Ergebnis führt.

Tabelle 11.

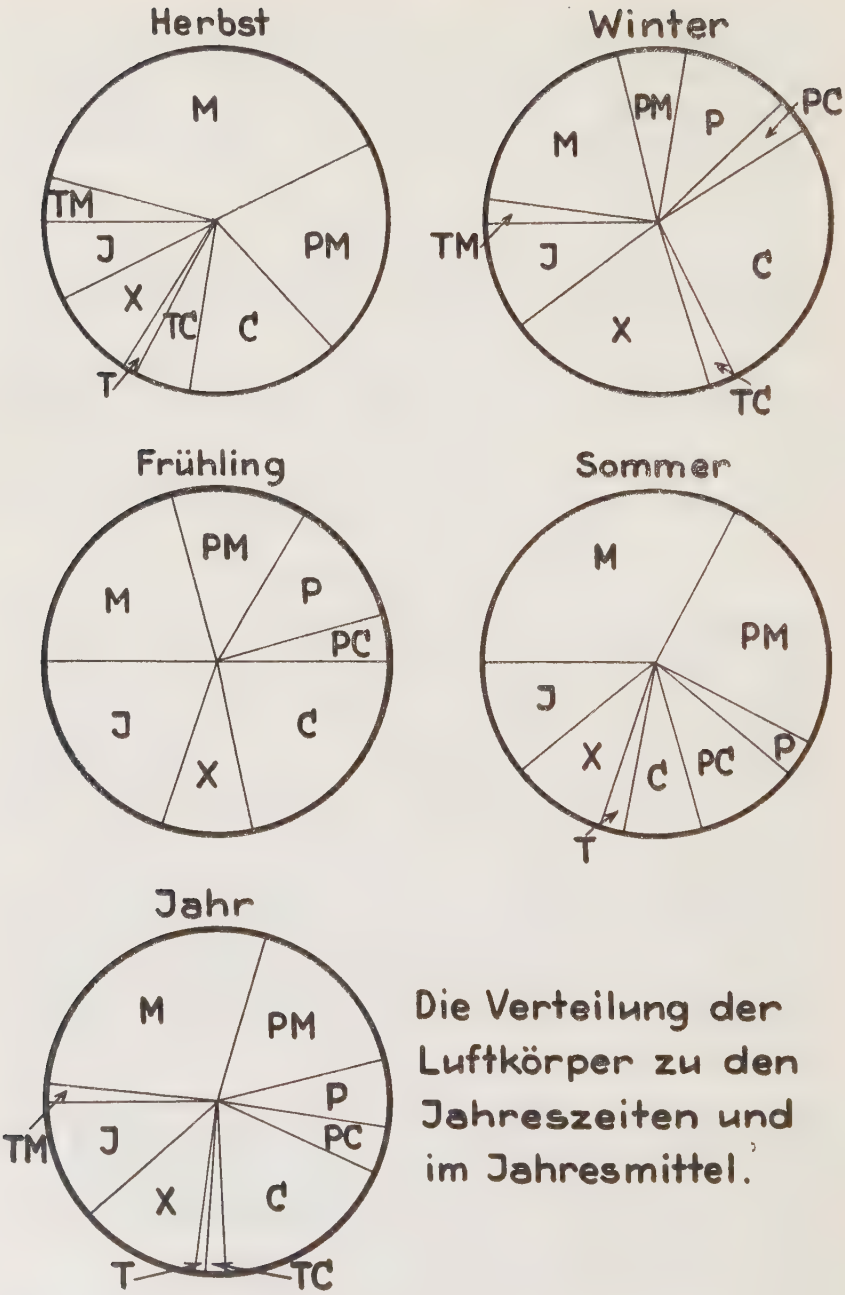
Witterungscharakter und die luftelektrischen Elemente.

	1				2				3			
	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z
erbst	4,62	1,44	8,2	2	3,99	1,49	8,9	7	3,47	1,57	10,8	7
Vinter	5,06	1,30	6,1	2	6,40	1,51	5,6	6	—	—	—	—
rühling	4,70	0,86	4,4	7	4,44	0,95	5,1	10	4,09	0,95	5,6	9
ommer	3,97	0,99	6,0	7	3,99	0,78	4,7	10	4,35	0,99	5,4	20

c) Einfluß der Luftkörper.

Defant macht darauf aufmerksam, daß die großen Zyklonen und der dadurch bedingte Wechsel des Wetters als ein Austausch in der Horizontalen aufzufassen ist. Während der senkrechte Austausch Schwankungen unterliegt, die von einer Messung bis zu der in wenigen Minuten später erfolgenden zweiten verschieden sein kann, bringen die großen Luftmassenverschiebungen in der Horizontalen meist Eigenschaften mit sich, die für sie als charakteristisch anzusehen sind. So findet man z. B. für Potsdam bei polar-maritimer Luft meist große Sichtweiten, eine mäßige absolute Feuchtigkeit und niedrige Temperaturen. Ähnliche Merkmale kommen auch den übrigen Luftkörpern zu. Schließlich sind ja auch diese Merkmale zur Analyse von Luftkörpern herangezogen worden, wie es aus den Arbeiten von Linke und Dinies (l. c. S. 17), Friedrichs,[12] Grundmann und Moese,[13] Geiger[14] und anderen hervorgeht. Wenn nun in früheren Abschnitten gezeigt wurde, daß die luftelektrischen Größen σ, i und λ bestimmte Beziehungen zu den einzelnen meteorologischen Elementen haben, dann ist auch ein Zusammenhang mit den Luftkörpern zu erwarten.

12. H. Friedrichs, Das Wetter, **47,** 257 und 294, 1930.
13. W. Grundmann und O. Moese, Ann. d. Hydrogr. u. marit. Met. **59,** 253, 1931.
14. R. Geiger, Das Wetter, **49,** 359, 1932.



Die Verteilung der Luftkörper zu den Jahreszeiten und im Jahresmittel.

Abb. 6.

Die Wetterlage war, wie Abbildung (6) zeigt, im Herbst 1932 durch ein Überwiegen von maritimen und polar-maritimen Luftkörpern ausgezeichnet. So ist es auch erklärlich, daß dieser Herbst sich durch eine große Anzahl von schönen Tagen von den übrigen Jahreszeiten abhob, wie man es auch aus den anderen Figuren der Abbildung erkennen kann. Das eigentliche Winterwetter setzte erst im Januar 1933 mit einer größeren Häufigkeit kontinentaler Luftmassen ein. Im Frühjahr ist eine ziemlich gleichmäßige Verteilung der Luftkörper zu erkennen, während der Sommer durch die große Zahl westlicher und nordwestlicher Zufuhr einen kühlen und feuchten Charakter hatte. Die kontinentale Luftzufuhr, die sich im Sommer durch erhitzte Luftmassen auszeichnet, war bis auf einen kleinen Bruchteil nicht vorhanden. Für den Verlauf der Witterung im Meßjahr läßt sich also sagen, daß wir einen sehr günstigen Herbst, einen in der ersten Hälfte milden, in der zweiten Hälfte strengen Winter und einen regnerischen Sommer hatten.

Verfolgt man die Wetterentwicklung noch etwas genauer, dann sieht man aus Abbildung (7), daß die Fälle des Überganges eines Luftkörpers in Mischluft oder indifferente Luft oder umgekehrt am

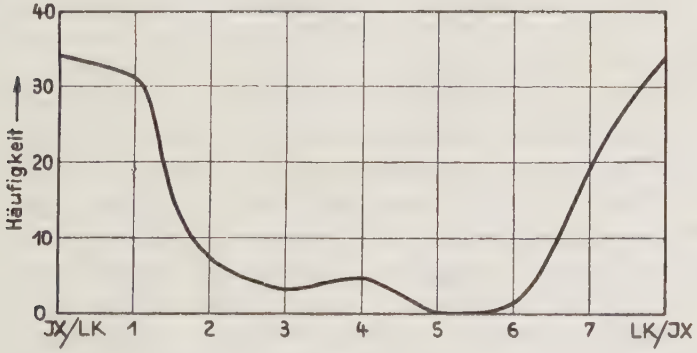


Abb. 7.

häufigsten waren. (In der Abbildung mit LK/IX oder IX/LK bezeichnet.) Zur Erläuterung der Abbildung sei hinzugefügt, daß in einem Kreis die Sektoren für die Luftkörper M, PM, P, PC, C, TC, T und TM im Uhrzeigersinn eingezeichnet wurden. Nun suchte ich die Fälle auf, bei denen z. B. M von PM oder PC von C usw. abgelöst wurde und ordnete ihre Anzahl dem Abszissenpunkt 1 zu. Das sind also die Fälle der einfachen Wetterfortentwicklung. Die Fälle,

bei denen ein, bezw. zwei oder mehrere Luftkörper übersprungen wurden, wurden den Abszissenpunkten 2, 3 usw. zugeteilt. Wird ein Luftkörper von dem entgegengesetzten abgelöst, so erhält man den Punkt 4 der Abszisse. Geiger bezeichnet dies als Witterungsumschwung. Man erkennt aus der Kurve, daß im Meßjahr die Häufigkeit des Witterungsumschwunges im Gegensatz zu der der Fortentwicklung des Wetters verschwindend klein ist. So ist es denn leider unmöglich, das gerade in diesem Fall zu erwartende interessante Verhalten der luftelektrischen Elemente zu studieren. In drei Fällen konnte die Änderung der luftelektrischen Elemente beim Wechsel von martimer zu indifferenter Luft verfolgt werden. Im Herbst wurde bei zusammensinkender maritimer Luft für i' der Wert 1,69 gemessen; am nächsten Tag ergab sich bei indifferenter Luft 1,26. In den beiden anderen Fällen (im Frühjahr und Sommer) wurde 0,99 zu 0,74 und 1,19 zu 0,65. M-Luft hätte demnach höhere Werte zur Folge als I-Luft, die bei noch längerem Verweilen über dem Festland schließlich zu C-Luft werden würde. In der Tabelle (12) ergeben sich für C im Jahresmittel etwas geringere Werte als für M. Leider gestattet die geringe Zahl der unmittelbaren Aufeinanderfolge zweier Luftkörper nicht die Aufstellung einer Regel. Im allgemeinen findet man bei den einzelnen Luftkörpern in Tabelle (12) im Herbst höhere Werte als im Jahresmittel. Beachtung verdient hier auch z, da es eine direkte Aufklärung darüber gibt, wie weit ein bestimmter Luftkörper an der Bildung des jahreszeitlichen Mittels und Jahresmittels für σ, i und λ beteiligt ist. Ganz auffällig sind die hohen Werte für i' bei PM und TC, die auch bei den Einzelmessungen immer wiederkehren. Dabei ergab sich bei PM eine mittlere Sicht von 35 km und bei TC etwa eine Sicht von 10 km. Das bestätigt das Ergebnis auf Seite 24, daß der Strom bei größter und kleinster Sicht extreme Werte annehmen kann. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, daß C-Luft mit M-Luft verglichen eine größere Amplitude zeigt, aber trotzdem im Jahresmittel den Wert von M nicht erreicht. Da im Frühling in der überwiegenden Zahl von Tagen in C-Luft gemessen worden ist, dürfte auch der Grund gefunden sein, weswegen die sonst höheren Werte für i' so plötzlich von weit niederen abgelöst wurden.

Zum Schluß mögen noch die Abweichungen des Stromes an allen Tagen von den ungestörten Tagen in den Monatsmitteln durch die Luftkörper erklärt werden (s. Seite 21). Und zwar ergibt sich dabei, daß die Monate, die für die ungestörten Tage ein tieferes i

Tabelle 12.

σ, i und λ **bei verschiedenen Luftkörpern.**

	Herbst				Winter				Frühling				Sommer				Jahresmittel		
Luftkörper	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'	z	σ'	i'	λ'
X	—	—	—	—	5,00	1,34	6,4	1	3,52	0,77	5,2	2	5,33	1,05	4,7	1	4,34	0,98	5,4
I	4,62	1,38	7,1	3	6,70	1,60	5,7	2	4,75	0,75	3,8	4	3,16	0,80	6,1	7	4,27	1,00	5,6
M	3,44	1,22	8,5	6	5,45	1,41	6,2	1	4,27	0,91	5,1	3	4,47	0,89	4,8	11	4,19	1,01	5,8
PM	4,30	2,27	12,6	3	—	—	—	—	3,67	1,16	7,6	1	4,21	1,35	7,7	5	4,18	1,63	9,3
P	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,47	0,90	6,2	1	3,47	0,90	6,2
PC	—	—	—	—	—	—	—	—	4,16	1,11	6,4	2	4,83	0,84	4,2	5	4,64	0,91	4,7
C	2,37	1,07	10,8	1	5,66	1,13	4,8	3	4,52	0,96	5,1	14	4,51	0,95	5,0	5	4,57	0,98	5,1
TC	2,57	1,85	17,2	2	7,71	2,30	7,1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	4,25	2,00	11,2
T	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,53	0,72	6,8	1	2,53	0,72	6,8
TM	6,28	1,31	5,0	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,28	1,31	5,0

zeigen als an allen Tagen, eine geringere Zahl von PM-Tagen haben, bis auf den Dezember, der durch eine Reihe von Tagen mit C-Luft charakterisiert war, die stets von hohen Stromwerten begleitet war. Ist im Monatsmittel der ungestörten Tage gleicher oder höherer Strom als an allen Tagen zu finden, so liegt das in der Regel an dem Vorhandensein von I- oder M-Luftkörpern, welche die i-Werte herabsetzen.

d) Vergleich der Vor- und Nachmittagswerte.

An 68 Tagen wurden am gleichen Tage eine Vor- und Nachmittagsmessung ausgeführt. Von diesen 68 Tagen waren nur 27 völlig frei von meteorologischen Störungen, wie tiefer Bewölkung, starkem Dunst, Nebel usw. Die übrigen Messungen lassen durch diese Störungseinflüsse den erwünschten Vergleich zwischen den am Vor- und Nachmittag gefundenen Werten nicht zu. In Tabelle (13) sind nun die 27 Doppelmessungen zusammengestellt worden. Hinzugefügt ist noch der Witterungscharakter und der am Tage herrschende Luftkörper. Mittelt man sämtliche Messungen, dann ergibt sich für den Vormittag ein $\sigma' = 4{,}30$ und für den Nachmittag ein $\sigma' = 3{,}61$. Diesen Oberflächendichten entsprechen die Potentialgefällewerte 162 und 136 Volt/m. Im zwanzigjährigen Mittel ergibt sich für das Potentialgefälle nach Kähler[15] für Potsdam eine Differenz zwischen dem 10 und 16 Uhr-Wert von 25 Volt/m, während die 27 Tage eine solche von 26 Volt/m aufzuweisen haben. Aus den Kurven auf Seite 181 und Seite 36 der Kählerschen Einführung geht hervor — die sich allerdings nur auf i_- und λ_- beziehen — daß man gegen den 10 Uhr-Wert ein um 8×10^{-18} Amp/cm² geringeren Wert für den Strom um 16 Uhr im Mittel zu erwarten hat. Bei der Leitfähigkeit ist für dieselben Zeiten ein Anstieg um $0{,}2 \times 10^{-5}$ e.s.e./sec ermittelt worden. Denkt man daran, daß die Stromkurven bei Kähler und die Leitfähigkeitswerte bei mir berechnet sind, dann ist das mit dem Wilson-Apparat gefundene Ergebnis immerhin beachtlich. Für den Vormittag ist im Gesamtmittel $i' = 1{,}10$ und $\lambda' = 6{,}1$, für den Nachmittag $i' = 0{,}98$ und $\lambda' = 6{,}5$. Die Differenzen

15. K. Kähler, Einführung in die atmosphärische Elektrizität, Seite 140, Berlin, Borntraeger. 1929.

Tabelle 13.

Vergleich der Vor- und Nachmittagswerte von σ, i und λ.

Datum			Vormittag. σ'	i'	λ'	Witt. Char.	L.K.	Nachmittag. σ'	i'	λ'	Witt. Char.	L.K.
932	Sept.	22.	3,04	2,96	23,3	3	PM	3,96	3,01	18,2	1	PM
		29.	5,38	1,70	7,6	1	I	5,72	1,16	4,8	1	I
	Okt.	6.	3,87	1,18	7,3	1	I	1,97	0,93	11,3	3	I
		13.	3,02	1,39	11,0	2	M	3,27	0,98	7,2	2	M
933	März	1.	7,96	1,17	3,5	1 ∞' $\vee^0$	C	10,16	1,25	2,9	1 ∞^0	C
		15.	4,00	0,88	5,3	3 ∞'	M	3,48	0,68	4,7	3 ∞'	M
		29.	6,70	1,05	3,7	2	I	5,21	1,16	5,3	2	I
	April	11.	3,88	1,03	6,3	3	X	3,49	1,44	9,9	3	X
		13.	3,67	1,16	7,6	3	PM	3,42	1,25	8,7	3	PM
		26.	2,89	0,69	5,7	1	C	3,72	0,70	4,5	1	C
		27.	2,63	0,58	5,3	1	C	3,20	0,63	4,7	1	C
	Mai	3.	4,65	1,84	9,5	2	C	4,60	1,62	8,4	2	C
		4.	4,05	0,78	4,6	2	C	3,66	0,78	5,1	2	C
		24.	4,93	1,15	5,6	3	PC	2,83	0,98	8,3	3	PC
	Juni	7.	3,40	0,42	3,0	1	PC	2,97	0,56	4,5	3	PC
		8.	3,24	0,50	3,7	3	PC	2,77	0,60	5,2	3	PC
		15.	5,32	0,84	3,8	3	PC	3,59	1,00	6,7	3	PC
	Juli	5.	4,97	1,54	7,4	3	PM	3,36	1,33	9,5	3	PM
		13.	6,19	1,06	4,1	3	M	3,62	0,76	5,0	3	M
		20.	4,40	1,40	7,6	3	I	3,24	0,83	6,1	3	I
		26.	5,38	1,19	5,3	3	M	4,11	1,27	7,4	3 ∞'	M
		27.	4,02	0,65	3,9	3 ∞'	I	2,75	0,58	5,0	3 ∞'	I
	Aug.	9.	3,96	1,07	6,5	3	M	3,05	0,80	6,3	1	M
		10.	2,86	0,62	5,2	2	M	1,88	0,47	6,0	2	M
		16.	3,07	0,90	7,0	3	M	2,13	0,49	5,5	3	M
		30.	4,25	1,13	6,4	2	C	2,98	0,71	5,7	1	C
		31.	4,46	0,73	3,9	1 ∞'	C	2,46	0,40	3,9	2	C

sind demnach für $i = 12 \times 10^{-18}$ Amp/cm² und für $\lambda = 0{,}4 \times 10^{-5}$ e.s.e./sec. Ein Blick auf die Tabelle (13) zeigt, daß die Oberflächendichte mit nur ganz wenigen Ausnahmen am Vormittag größer ist als am Nachmittag. Beim Strom ist die Zahl der Tage mit Abweichungen vom Mittelwert schon größer. Im allgemeinen hat es den Anschein, als ob in I- und M-Luft der tägliche Gang des Stromes am besten hervortritt.

3. Ergebnisse der gestörten Tage.

a) Wolkeneinfluß.

Bei einem Vergleich der Tage mit dem Witterungscharakter 4 und 5 ergibt sich, daß die trüben Tage mit ganz bedecktem Himmel (Witterungscharakter 5) für das Potentialgefälle niedrigere Werte ergeben als die Tage mit dem Witterungscharakter 4. Eine Ausnahme machen nur die drei Messungen im Winter. Beim Strom sind die Werte bei Witterungscharakter 5 ausnahmslos niedriger als bei 4. Im Jahresmittel wird σ' für die Stcu- oder Nbst-Tage 3,95 und 3,26 für die ganz trüben Tage. Diesen Werten entsprechen für i' die Zahlen: 1,37 und 0,97, für λ': 8,3 und 7,1. Vergleicht man diese Jahresmittel mit den Jahresmitteln, die bei dem Witterungscharakter 1, 2 und 3 gefunden wurden, dann ist eine Abnahme der Oberflächendichte mit zunehmender Bewölkung erkennbar. Der Strom nimmt bei diesem Vergleich bis zum Witterungscharakter 4 zu, um dann wieder einen geringeren Wert anzunehmen. Das Leitvermögen zeigt das gleiche Verhalten wie der Strom. Eine Ordnung der Werte von σ' i' und λ' für den Witterungscharakter 4 und 5 nach Jahreszeiten ist in Tabelle (14) zu finden.

Tabelle 14.

σ, i und λ **beim Witterungscharakter 4 und 5.**

		4	5		4	5
	σ'	4,70	3,26		3,82	4,18
Herbst	i'	2,05	1,61	Winter	1,58	0,99
	λ'	10,4	11,8		9,9	5,7
	z	7	3		4	3
	σ'	3,75	3,15		3,38	2,61
Frühling	i'	0,84	0,77	Sommer	0,86	0,77
	λ'	5,4	5,8		6,1	7,1
	z	4	7		7	3

b) Dunst und Nebel.

Messungen bei starkem Dunst bestätigen erneut, daß die Stromwerte bei den geringsten Sichtweiten sehr hoch sind. So wurden beispielsweise am 14. Dezember vormittags und nachmittags in ∞^2 für i' die Werte 2,30 und 4,41 gemessen. Am 19. und 20. Dezember ergaben sich in ∞^1 für i' die Werte 1,74 und 1,65.

Während diese Messungen, die zum Teil einige Stunden dauerten, immer wieder ein i' von gleicher Höhe ergaben, zeigte eine Meßreihe am 30. März, daß bei starkem Dunst schnelle Stromschwankungen möglich sind. In zwei Fällen gelang mir die Feststellung, daß i mit schwächer werdendem Dunst abnimmt. Am 3. Dezember wurde mit den Messungen bei ∞^1 begonnen; nach zwei Stunden war nur noch ∞^0. i' nahm in dieser Zeit von 2,38 auf 1,20 ab und σ' von 4,59 auf 5,83 zu. Ein ähnliches Ergebnis konnte am 29. April gefunden werden. Während der vierstündigen Meßzeit verschwand der anfänglich herrschende ∞^0; die Stundenmittel waren für i': 0,72, 0,50, 0,37 und 0,38; für σ': 3,11, 2,48, 2,12 und 2,17.

Am 10. November gelang es am Vor- und Nachmittag Messungen in nässendem Nebel auszuführen. Bei beiden Messungen zeigte sich, daß i negative und σ positive Werte annahm. i' schwankte am Vormittag stark zwischen — 0,09 und — 0,83, am Nachmittag zwischen — 3,39 und 9,20; die Oberflächendichte zeigte geringere Schwankungen (a.m. 1,97 bis 4,26; p.m. 1,39 bis 2,15). Aus diesen beiden Messungen geht ganz deutlich hervor, daß mit dem Wilson-Apparat jedes zum Empfangssystem gelangende und mit Ladung versehene Partikelchen gemessen wird. Da es jedoch meist nicht möglich ist, den Gehalt der Luft an elektrisch verschieden gearteten Partikelchen klar zu erkennen, haftet der Strommessung mit dem Wilson-Apparat ein prinzipieller Fehler an. Während einer zweistündigen Messung am 17. November konnte festgestellt werden, daß bei abnehmendem Nebel ($\equiv^2$ am Anfang der Messung und $\equiv^0$ am Schluß der Messung) die i'-Werte von 0,83 auf 1,57 stiegen und die σ'-Werte von 7,75 auf 3,79 fielen. Abnehmender Dunst und abnehmender Nebel zeigen also bei einem Vergleich mit dem Strom bei meinen Messungen ein entgegengesetztes Verhalten.

c) Mechanische Einflüsse.

Negative Stromwerte bei positivem Potentialgefälle sind nicht allein bei nässendem Nebel beobachtet worden. Am 30. September wurden durch plötzlich einsetzende Windstöße sicherlich Staubteilchen auf das Empfangssystem geweht, was ebenfalls negative Werte für i zur Folge hatte. Am 10. Oktober traten dieselben Erscheinungen bei über die Meßstelle hinwegwehenden Rauchschwaden ein. Nicht immer ziehen derartige Störungen die Um-

kehr des Vorzeichens für i nach sich. Häufig werden dadurch die Werte von i nur stark erniedrigt. Beispiele dafür lieferten die Messungen am 24. Oktober. Am 15. November schwankte i bei Nebel zwischen positiven und negativen Werten. Obwohl alle diese Störungen den Strom stark beeinflußten, war bei der Oberflächendichte eine Einwirkung nicht festzustellen. Hinzufügen möchte ich noch, daß auch Blütenstaub, aufgewirbelter Schnee oder Reif zu gleichen Störungen Anlaß gegeben haben.

d) Schnee, Regen und Gewitter.

Zum Beginn einer fünfstündigen Messung wurde am 20. November $i' = 0{,}91$ gefunden. Während der Meßzeit stieg i' im Stundenmittel auf 1,14, 1,29, 1,48 und 2,02. In der zweiten Hälfte der Messung fielen vereinzelt Schneeflocken. Die Oberflächendichte zeigte in ihrem Verlauf kein so eindeutiges Verhalten; den i'-Werten entsprechen die σ'-Werte: 4,92, 4,24, 4,40, 3,90 und 5,51. Am 8. Dezember konnte ich ebenfalls kurz vor Einsetzen des Schneefalls einen starken Anstieg des Stromes beobachten. (i' von 2,81 auf 6,89.) Am 19. April wurde aber in einer Meßreihe festgestellt, daß vereinzelt fallende Schneeflocken nicht stark einwirkten (i' schwankte nur von 0,64 bis 0,83). Die Messungen, die vor einsetzenden Niederschlägen begonnen wurden, konnten nur bis zum Beginn des Niederschlages durchgeführt werden. Die hier angegebenen Werte beziehen sich also auf Zeiten vor Schnee- oder Regenanfang. Ganz vereinzelt gelang es, die Isolation bei sehr schnell vorüberziehenden schwachen Niederschlägen zu halten. So z. B. am 12. und 26. Juni. Der aus der Wolke fallende Regen erreichte die Erde nicht. Sobald die Böe einsetzte, fielen die Werte von σ und i, um nach Abzug der Böe wieder anzusteigen. Die vom Potentialgefälle her bekannten Schwankungen bei diesen Störungen wurden auch beim Strom festgestellt. Am 11. Oktober änderte sich i' von 0,10 bis 1,71. σ zeigte bis zum Beginn des ◍⁰ eine schnelle Abnahme. In drei Fällen gelang es, Strombeobachtungen bei herannahendem oder vorüberziehendem Gewitter zu machen. Am 12. April schwankte der Strom vor dem Anfang des Gewitters stark (i' änderte sich von 0,1 bis 1,43), während σ noch ruhig verlief (σ' schwankte von 3,50 bis 4,20). Beim Eintreffen der Böe wurden σ und i negativ. Am 29. Mai drückte ein nicht zur Entladung kommendes Gewitter die Werte für σ und i stark. Im dreistündigen

Mittel ergab sich für $\sigma' = 2{,}91$ und für $i' = 0{,}44$. Am 22. Juni konnte mit dem Wilson-Apparat wenige Minuten vor Beginn eines Gewitters nur σ beobachtet werden. In Bruchteilen von Sekunden schwankte σ von positiven zu negativen Werten, so daß man den Verlauf nicht notieren konnte.

4. Dauermessungen.

a) Messungen an ruhigen Tagen.

Für gewöhnlich laufen i und λ parallel, nur vorübergehend kommen Abweichungen vor. σ dagegen läßt keinen regelmäßigen Zusammenhang zu i oder λ erkennen. In Abbildung (8) ist eine Meßreihe bei Tag und in Abbildung (9) eine Meßreihe bei Nacht

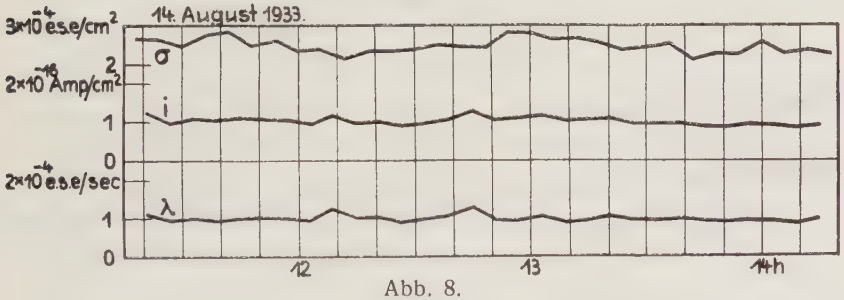


Abb. 8.

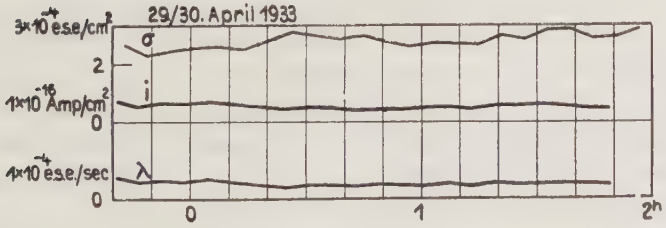


Abb. 9.

wiedergegeben. Bei der Tagesmessung zeigt σ den für ungestörte Tage bekannten Verlauf. i hat in der Meßzeit nur eine Amplitude von $0{,}4 \times 10^{-16}$ Amp/cm², λ $0{,}2 \times 10^{-4}$ e.s.e./sec. Den drei Kurven gemeinsam ist eine — bezogen auf die Anfangswerte — geringe Neigung zu tieferen Werten. Ähnliches zeigt die nächtliche Messung. Die Kurven für i und λ liegen tiefer als die gleichen Kurven der Tagesmessung. Die Werte für i und λ nehmen in der

nächtlichen Messung langsam ab, während bei σ ein Anstieg zu erkennen ist.

b) Messungen an gestörten Tagen.

Abbildung (10) zeigt die Meßreihe vom 11. April. In Form und Menge schnell wechselnde Bewölkung beunruhigte sehr die Werte von σ. i und λ sind ebenfalls sehr schwankend, verlaufen aber trotzdem parallel zueinander und zeigen in ihrem Verlauf häufig Ähnlichkeit mit dem Verlauf von σ. Ein gegen $11^h\,40$ über dem Meßplatz befindlicher Cunb setzt die Werte von σ, i und λ bis

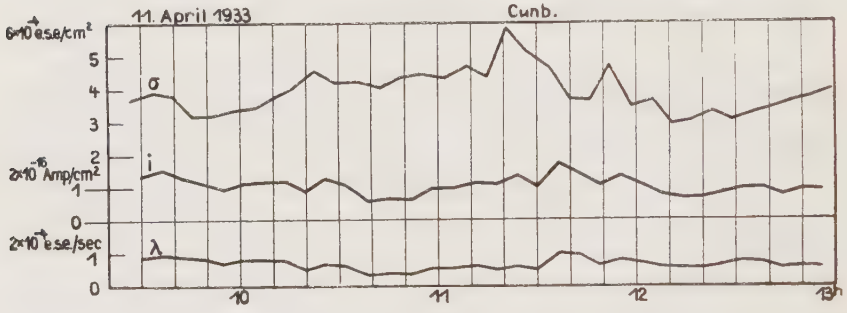


Abb. 10.

zu seinem Abzug herab. In Abbildung (11) sind die Schwankungen von σ, i und λ kurz vor Beginn eines Gewitters am 27. Juni wiedergegeben. Die σ-Kurve ist sehr zackig und nimmt beim Einsetzen der Gewitterböe einen negativen Wert an. Bei der Bildung des mittleren σ fällt jedoch der negative Wert heraus, so daß eine Berechnung von λ noch möglich war. Bei σ und i ist noch deutlich der Übergang zu negativen Werten zu erkennen. Die Messung mußte dann aber des Gewitters wegen abgebrochen werden. Während σ' zwischen 5,77 und — 1,44 schwankte, waren die Änderungen bei i (i' von 1,44 bis 0,29) nicht so groß. Am 17. November (siehe Abbildung 12) wurde bei abnehmendem Nebel und ganz schwachem Wind Abnahme bei σ und Zunahme bei i gemessen. Erst bei Durchbruch der Sonne setzte die Konvektion ein und schaffte den Nebel fort. Gleichzeitig stiegen auch die Werte von i und λ an. Vollkommen durch Dunst

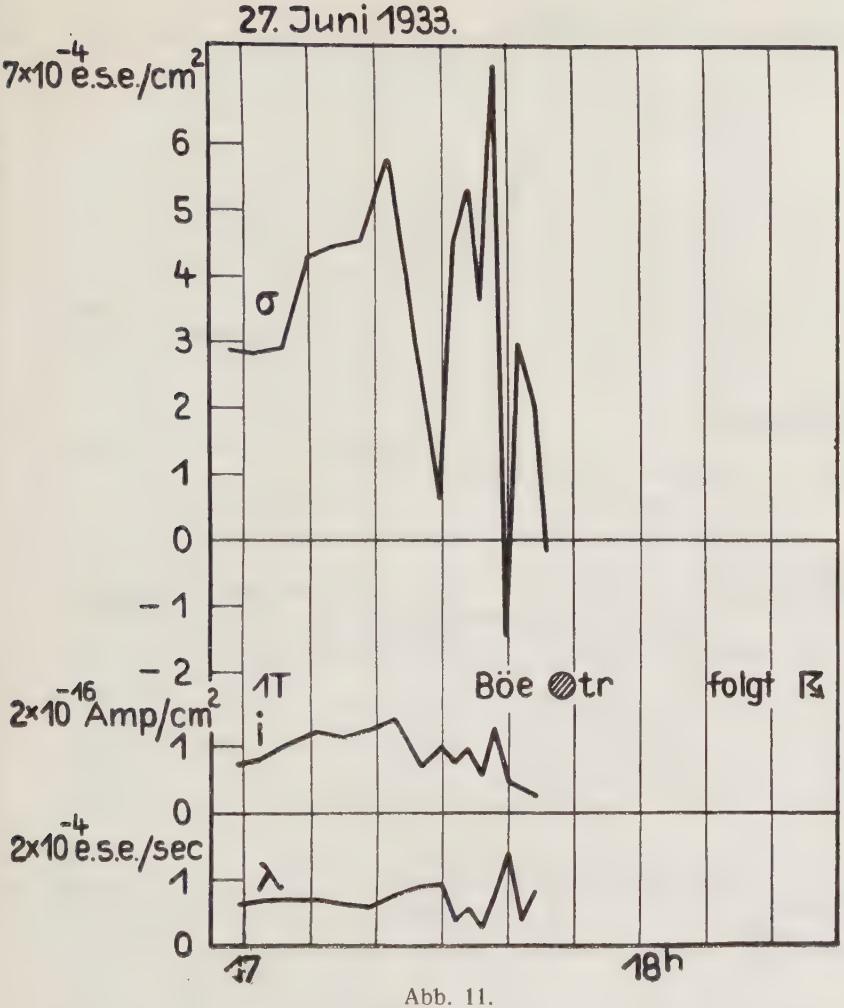


Abb. 11.

und Nebel gestörte Kurven zeigt die Abbildung (13) vom 15. November. Gegen 19 Uhr steigt σ bei zunehmendem Nebel wieder an. Die Ursache für die negativen i-Werte konnte nicht festgestellt werden. λ erreichte hier nur selten den Wert 5×10^{-5} e.s.e./sec. Am 10. Oktober (siehe Abbildung 14) gelang es ganz eindeutig, die Einwirkung von Rauch auf den Strom festzustellen. Eine ungefähr 10 Minuten dauernde Rauchstörung brachte für i negative Werte. λ konnte ebenso wie am 15. November wegen der negativen i-Werte nicht berechnet werden.

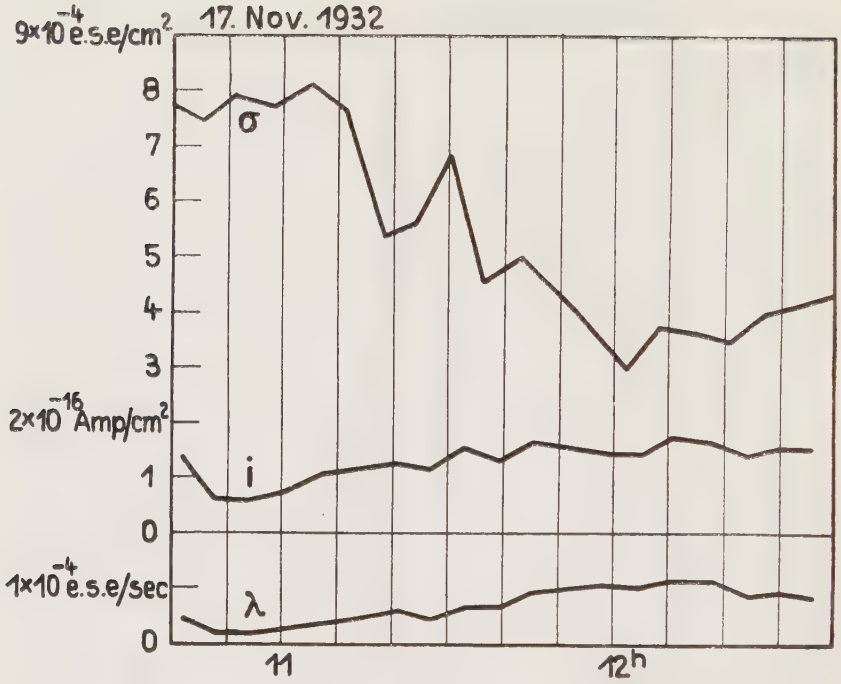

17. Nov. 1932
9×10⁻⁴ e.s.e/cm²
8
7
6
5
4
3
σ
2×10⁻¹⁶ Amp/cm²
1
i
0
1×10⁻⁴ e.s.e/sec
λ
0
11
12h

Abb. 12.

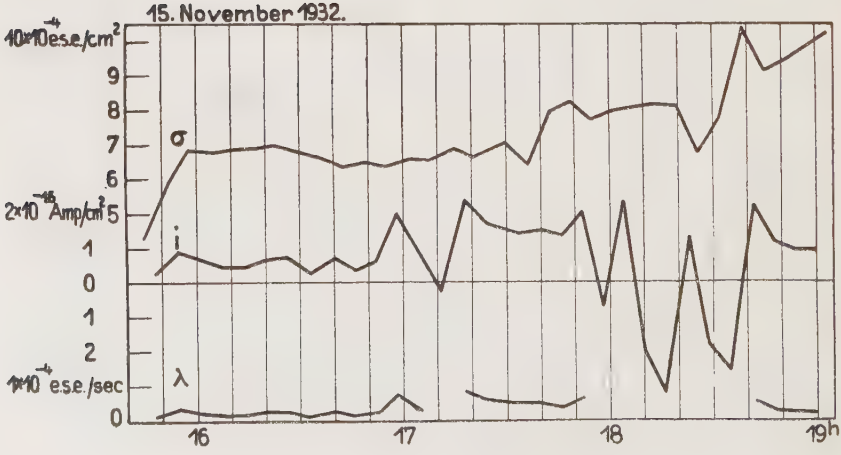

15. November 1932.
10×10⁻⁴ e.s.e/cm²
9
8
7
σ
6
2×10⁻¹⁶ Amp/cm²
5
1
i
0
1
2
1×10⁻⁴ e.s.e./sec
λ
0
16
17
18
19h

Abb. 13.

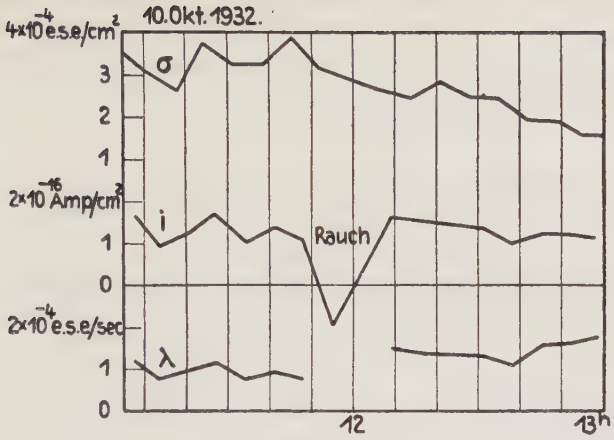


Abb. 14.

c) Leichte Ionen und Vertikalstrom.

An vielen Tagen wurden gleichzeitig mit den σ- und i-Messungen Beobachtungen der leichten Ionen mit der Grenzbeweglichkeit $k = 1 \frac{cm}{sec} : \frac{Volt}{cm}$ von cand. phil. Schultz ausgeführt, und zum Teil über mehrere Stunden ausgedehnt. Da die leichten positiven und negativen Ionen (n_+ und n_-) im allgemeinen parallel zueinander verlaufen, ist es bei den Untersuchungen nach qualitativen Zusammenhängen zwischen Strom und Ionen gleichgültig, ob die positiven oder negativen Ionen zum Vergleich herangezogen werden. Abbildung (15) zeigt eine Vergleichsmessung mit n_-. Daraus sind ebensoviel Stellen mit parallelem Verlauf zwischen i und n_- zu ersehen wie mit entgegengesetztem Verauf. Gleiches zeigt auch

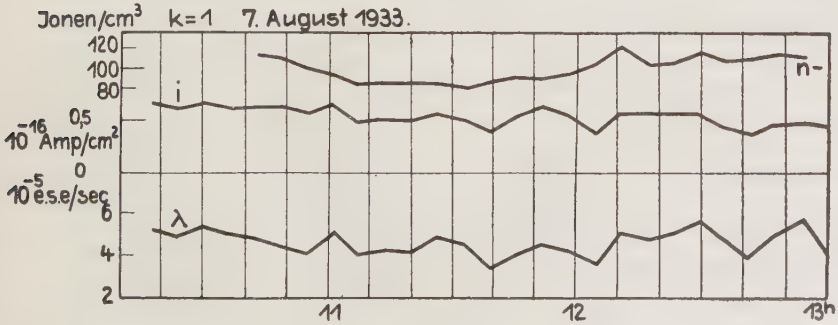


Abb. 15.

Abbildung (16). Aus diesen Vergleichsmessungen ist zu erkennen, daß die leichten Ionen keineswegs den Hauptanteil zum Vertikalstrom liefern. Nach meinen Untersuchungen muß der Strom durch Ionen aller Beweglichkeiten gebildet werden.

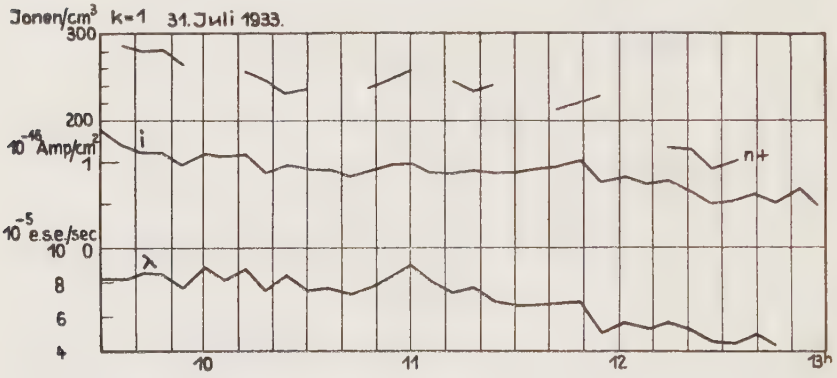


Abb. 16.

IV. Vergleichsmessungen und Meßerfahrungen.

1. Das Empfangssystem.

Wird die Erdplatte vom Empfangssystem abgeschwenkt, dann schlägt der Faden des Elektrometers durch Influenz des Erdfeldes aus. Nachdem er durch den Kompensator in die Nullage zurückgebracht worden ist, werden weitere Fadenausschläge nicht nur durch den Strom hervorgerufen, sondern die Influenz des Erdfeldes wirkt ebenfalls fort. So ist es also möglich, daß der Faden nach beiden Richtungen Ausschläge zeigt, was bei alleiniger Wirkung des Stromes nur dann erklärlich wäre, wenn durch Hinzuwandern entgegengesetzt geladener Teilchen ein Teil der Ladung wieder verloren ginge. Um das zu klären, wurden Parallelmessungen gemacht zwischen der Wilson-Apparatur und einem Ionium-Kollektor, der auf ein Einfaden-Elektrometer gesetzt war. Durch Ablesungen von zehn Sekunden Abstand erhält man so die schnellen Schwankungen des Potentialgefälles. In der Abbildung (17) gibt die Abszisse die Anzahl der Vergleichsmessungen und die Ordinate die Fadenstellung der beiden Elektrometer relativ zur Ausgangsstellung in Skalenteilen wieder. Die mit dem Wilson-Apparat erzielte Kurve zeigt neben den vielen Schwankungen ein stetiges Anwachsen, das von dem in das Empfangssystem hineinfließenden Strom herrührt. Die zweite Kurve zeigt das unruhige Verhalten des Potentialgefälles. Jede schnelle Änderung in ihr ist in der ersten Kurve wiederzufinden. Hieraus ergibt sich zweierlei:

1. Der Wilson-Apparat ist zur Verfolgung schneller Potentialgefälleschwankungen sehr gut geeignet.
2. Der Wilson-Apparat zeigt bei der Messung des Stromes eine viel größere Trägheit als bei der Messung des Potentialgefälles.

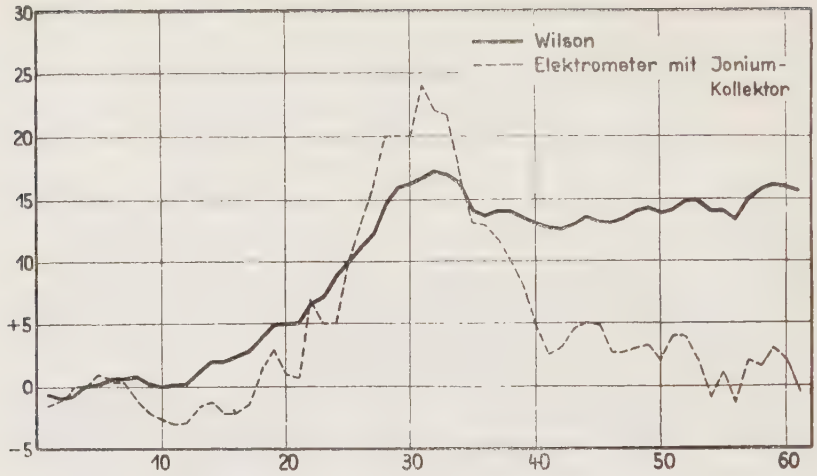


Abb. 17.

Fuchs und Scholz (l. c. Seite 11) fanden bei ihren Messungen mit dem Wilson-Apparat ebenso wie ich mitunter beim Strom das entgegengesetzte Vorzeichen als beim Potentialgefälle. Daraus ergibt sich aber, daß die Gleichung $i = \lambda \frac{dV}{dh}$ nicht mehr erfüllt ist, oder mit anderen Worten, daß das Leitvermögen zu einer gerichteten Größe wird, was unmöglich ist, da λ nicht negativ werden kann. Möglich ist ein dem Potentialgefälle entgegengesetztes i nur, wenn man wieder die beiden Komponenten des Stromes betrachtet; und zwar muß dann das Vorzeichen von i von der durch Konvektion hervorgerufenen Stromkomponente bestimmt werden. Das heißt aber, daß der Wilson-Apparat nicht im Stande ist, die sich durch das elektrische Feld ergebende Stromkomponente allein zu messen.

Ferner ergab sich bei den Messungen, daß — vor allem im Winter bei Reif — der Apparat auch Volta-Effekte zeigen kann. Nachdem der Apparat in Meßbereitschaft gebracht worden war, zeigte der Faden des Elektrometers entweder sofort oder nach einigen ungestörten Messungen Ausschläge, wenn das Empfangssystem enterdet und gegen das Erdfeld noch durch die Erdplatte abgeschirmt war. Der Volta-Effekt erklärt sich aus dem sehr schwach mit Feuchtigkeit beschlagenem Isolator, der das geerdete Gehäuse von dem Empfangssystem trennt. Hierbei handelt es sich

um einen Feuchtigkeitszustand, der zum Versagen der Isolation noch nicht ausreicht. Bei den weiteren Messungen wurde daher nach diesen Erfahrungen auf diese Fehlermöglichkeit geachtet und die Messungen abgebrochen, wenn der Effekt auftrat.

2. Der Kompensator.

Für den Bau des Kompensators ist es empfehlenswert, daß sich die Kapazität mit der Umdrehung der Stelltrommel linear ändert. Man hat dann den Vorteil, die Spannung am Kompensator variieren zu können, ohne neue Eichungen vornehmen zu müssen. Die zur geänderten Spannung gehörige neue Elektrizitätsmenge erhält man durch Multiplikation mit einem Proportionalitätsfaktor, der sich folgendermaßen berechnen läßt:

Es sei T die Zahl der Skalenteile auf der Stelltrommel, V die Spannung am Kompensator, C die Kapazität des Kompensators und Q die Elektrizitätsmenge. Dann ist:

$$T \cdot V = C \cdot V = Q$$

oder $$T_1 \cdot V_1 = C_1 \cdot V_1 = Q;$$

ist $V_1 < V$, dann ist $T_1 > T$. Deswegen ist

$$T \cdot V_1 = Q_1 < Q.$$

Um Q auf Q_1 zu bringen, muß es mit $T : T_1$ multipliziert werden.

$$Q \cdot \frac{T}{T_1} = T \cdot V_1 = Q_1.$$

Q ist aus der Eichkurve zu entnehmen; T_1 berechnet sich aus Q und V_1; T wird an der Trommel abgelesen.

Der Kompensator meines Apparates besaß diesen Vorzug.

Ausblick und Zusammenfassung.

Carse und Mac Owan[1] untersuchten den Vertikalstrom der Stadtluft im künstlichen elektrischen Feld. Nachdem in der vorliegenden Arbeit gezeigt worden ist, welchen Einfluß die meteorologischen Elemente auf den Strom ausüben, wäre es wünschenswert, wenn mit der Wilson-Apparatur unter bekannten Versuchsbedingungen im künstlichen elektrischen Feld die Messungen wiederholt würden. So ließen sich z. B. in einem geschlossenen Raum die Anzahl der leichten und schweren Ionen und die relative Feuchtigkeit variieren und gleichzeitig der Strom messen. So müßte es gelingen, die komplexe Natur des Vertikalstromes wenigstens zum Teil zu klären. Es dürfte wohl auch keinem Zweifel unterliegen, daß eine Kenntnis der strombildenden Vorgänge in der Atmosphäre auch auf andere Teilgebiete der Luftelektrizität fördernd wirken müßte; genannt sei nur der Ionisierungshaushalt der Atmosphäre.

Zum Schluß sei noch das Ergebnis der Arbeit zusammengefaßt.

1. Der Wilson-Apparat wurde verbessert. Die schwache Metallplatte des Schutzringkondensators wurde vom Elektrometer entfernt und durch eine starke Platte ersetzt, die auf drei Füßen so aufgestellt wurde, daß sie zur Empfangsplatte genau einjustiert werden kann. Dadurch wird die Eichung des Apparates wesentlich erleichert. Der zum Beginn einer Messung vom Apparat abzunehmende Deckel wurde durch eine schwenkbare Erdplatte ersetzt. Ferner wurde ein neuer Erdkontakt angebracht.
2. Das Empfangssystem des Apparates wurde in das Niveau der Erde verlegt. Als Erde diente das über dem luftelektrischen Laboratorium ausgespannte Drahtnetz.

---

1. G. A. Carse und D. Mac Owan, Proc. of the Roy. Soc. Edingb. **30,** 460, 1909—10.

3. Aus Untersuchungen an einem Modell des Meßplatzes im künstlichen elektrischen Feld ergab sich der Reduktionsfaktor 1,40.
4. Die Bearbeitung der ungestörten Vormittage des Meßjahres lieferte folgende Ergebnisse:
   a) Im Jahresmittel wurde die Oberflächendichte $\sigma = 6{,}69 \times 10^{-4}$ e.s.e./cm², der ein Potentialgefälle von 252 Volt/m entspricht, und der Strom $i = 1{,}60 \times 10^{-16}$ Amp/cm² gemessen; die Werte sind auf die Ebene reduziert. Die errechnete mittlere Leitfähigkeit betrug $\lambda = 5{,}7 \times 10^{-5}$ e.s.e./sec.
   b) Bei bester und schlechtester Sicht wurden für den Vertikalstrom die höchsten Werte gemessen. Der Vertikalstrom nahm bei zunehmender relativer Feuchtigkeit zu. Die Wechselwirkung zwischen Sicht, relativer Feuchtigkeit und Strom wurde diskutiert.
   c) Die Höhe des gemessenen Vertikalstromes hängt vom Austausch der freien Atmosphäre ab, was bei einer Ordnung des Materials nach Luftkörpern deutlich hervortritt. Die höchsten Werte für den Strom wurden in polar-maritimer und in tropisch-kontinentaler Luft gemessen; der niedrigste Wert für den Strom ergab sich in Tropikluft. Für die σ-, i- und λ-Werte wurde nachgewiesen, daß von der Stadt her wehende Winde die Werte drücken.
   d) Im Sommer und Herbst folgt der Vertikalstrom in bezug auf die Bodentemperatur in schwach ausgeprägtem Zusammenhang den Gesetzen der Diffusion. Im Winter und Frühling zeigt er entgegengesetztes Verhalten. Ein Vergleich des Vertikalstromes mit der Luftdruckänderung führte zu keinem Ergebnis.
   e) Ein Vergleich der Vor- und Nachmittagswerte ergab, daß die Nachmittagswerte im Mittel bei Potentialgefälle um 26 Volt/m und die Stromwerte um 12×10^{-18} Amp/cm² niedriger sind als am Vormittag. Die Leitfähigkeit war am Nachmittag um $0{,}4 \times 10^{-5}$ e.s.e./sec höher als am Vormittag.
   f) Der Vertikalstrom wird durch Ionen aller Beweglichkeiten gebildet.

5. Bei zunehmender Bewölkung wurde σ kleiner, i und λ läßt einen schwachen Anstieg erkennen, um an ganz trüben Tagen wieder geringere Werte anzunehmen.
6. Die gestörten Tage zeigen, daß i ebenso wie σ sehr schnellen Schwankungen unterliegen kann. Bei nässendem Nebel, aufgewirbeltem Staub oder Raucheinfluß ergaben sich für i negative und für σ positive Werte.
7. Durch mehrere Dauermessungen wird das Verhalten von σ, i und λ an gestörten und ungestörten Tagen gezeigt. Ferner wurde i mit den positiven und negativen Ionen von der Grenzbeweglichkeit $1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} : \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$ verglichen.

Der experimentelle Teil der vorliegenden Arbeit wurde im luftelektrischen Laboratorium des Potsdamer Meteorologischen Observatoriums ausgeführt. Die Vermessung der Beobachtungswiese, der Bau des Modelles und die Änderungen am Wilson-Apparat wurden in dankenswerter Weise vom Meteorologischen Observatorium aus staatlichen Mitteln ermöglicht.

Lebenslauf.

Am 22. Mai 1908 wurde ich, Hellmut Grieger, als Sohn des Lokomotivführers Fritz Grieger in Berlin-Schöneberg geboren und bin evangelischer Konfession. Bis zum 15. Lebensjahr besuchte ich die Volks- und Fichte-Real-Schule in Schöneberg bis zur Obertertia. Darauf erlernte ich das Mechanikerhandwerk. Inzwischen bereitete ich mich als Extraneer auf das Abiturium vor, das ich zum Herbst 1929 an der 5. Berliner Oberrealschule bestand. Im Sommer-Semester 1930 begann ich an der Berliner Friedrich-Wilhelms-Universität das Studium der Mathematik, Physik, Meteorologie, Ozeanographie und Geographie. Meine Lehrer waren in der Meteorologie und Ozeanographie die Professoren: Defant, von Ficker, Kähler, Robitsch und Wüst; in Physik: Henning, Nernst und Wehnelt; in Mathematik: Bieberbach, Hammerstein, Erh. Schmidt und Schur; in Geographie: Krebs und Rühl; in Philosophie: Köhler, Rieffert und F. J. Schmidt. Seit dem Sommer-Semester 1932 arbeitete ich im großen meteorologischen Praktikum im Potsdamer Meteorologisch-Magnetischen Observatorium bei Herrn Professor Kähler.